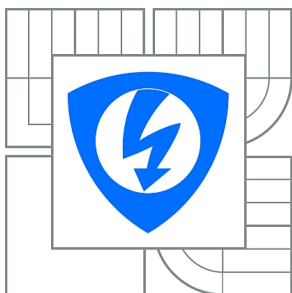




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**
ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

MODELOVÁNÍ PARAMETRŮ SOLÁRNÍ ELEKTRÁRNY V GIS

MODELING OF SOLAR POWER STATION PARAMETERS IN GIS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

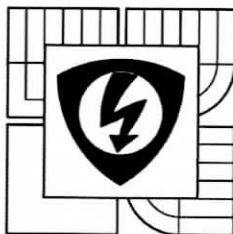
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JOSEF KUČERA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ ROZMAN, CSc.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav biomedicínského inženýrství

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Biomedicínské a ekologické inženýrství

Student: Bc. Josef Kučera

Ročník: 2

ID: 77715

Akademický rok: 2012/13

NÁZEV TÉMATU:

Modelování parametrů solární elektrárny v GIS

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Seznamte se s principem, vlastnostmi a konstrukcí fotovoltaických článků (panelů) a problematikou solárních elektráren. Zaměřte se na využití solární energie s ohledem na nejvhodnější lokalitu v ČR. 2) Prostudujte možnosti 3D modelování v geografickém informačním systému ArcView. 3) Navrhněte postup výběru nejvhodnější lokality pro výstavbu solární elektrárny v podmínkách ČR s ohledem na minimální degradaci krajinného rázu. 4) V programovém prostředí ArcView vytvořte 3D model zvolené lokality před a po výstavbě solární elektrárny. 5) Dosažené výsledky porovnejte s možným řešením při instalaci solárních panelů na střechy domů. 6) Diskutujte dosažené výsledky s ohledem na platnou legislativu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] KOLEKTIV: Pracujeme s geografickým informačním systémem ArcView GIS. Computer Press, Praha, 1999, ISBN 80-7226-214-9.
[2] KRIEG, B.: Elektřina ze Slunce - solární technika v teorii a praxi. HERL, Ostrava, 1993.

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 24.5.2013

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Rozman, CSc.

Konzultanti diplomové práce:

prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.
předseda oborové rady



UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Práce se zabývá modelováním parametrů solární elektrárny s využitím geografického informačního systému ArcGIS a problematikou solární energie a jejím využitím ve fotovoltaických elektrárnách. V úvodu práce je uvedena teorie potřebná pro pochopení funkce fotovoltaických článků od úplného počátku až po samotnou konstrukci fotovoltaických panelů. Byly rozebrány podmínky pro umístění fotovoltaických panelů v podmínkách České republiky. Dále práce přibližuje samotný informační systém ArcGIS a jeho možnosti pro 3D modelování. Část práce se zabývá návrhem postupu výběru nejvhodnějších lokalit pro instalování fotovoltaických panelů. Hlavní částí práce je vizualizace vytvořeného 3D modelů zájmových lokalit.

KLÍČOVÁ SLOVA

Solární elektrárna, Geografický informační systém, fotovoltaické články, 3D modelování

ABSTRACT

The work deals with the modeling of the parameters of solar power plants and the issue of solar energy with its use in the photovoltaic power plants. It uses the geographic information system named ArcGIS. In the beginning of the work, there is the theory. This theory is necessary to understanding the function of the photovoltaic cells, from the beginning to the photovoltaic panels construction. There were analyzed the conditions of the location of the photovoltaic panels in the Czech Republic. Furthermore, the work approaches the ArcGIS and its 3D modeling possibilities. The part of the work deals with the proposal for the selection process of the most suitable location to the photovoltaic panels installing. The main part of the work is the visualization of the 3D models of the locations of interest.

KEYWORDS

Solar Power, Geographic information system, photovoltaic cells, 3D modeling

KUČERA, J. *Modelování parametrů solární elektrárny v GIS*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav biomedicínského inženýrství, 2013. 83 s. Diplomová práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Rozman, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci na téma Modelování parametrů solární elektrárny v GIS vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této semestrální práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových, a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Rozmanovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé semestrální práce. Také děkuji rodičům a přítelkyni za příkladnou podporu po dobu mého studia.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Seznam obrázků	vi
Seznam tabulek	x
Úvod	1
1 Obnovitelné zdroje energie	2
1.1 Energie Slunečního záření	3
1.2 Využití sluneční energie	7
1.2.1 Solární ohřev vody	7
1.2.2 Solární fotovoltaické systémy	8
1.2.3 Umístění fotovoltaických panelů na budovy	18
1.2.4 Podmínky pro umístění fotovoltaických panelů v ČR	19
2 Geografický informační systém	24
2.1 Reprezentace prostorových dat	25
2.2 Architektura ArcGIS	27
2.3 Popis vybraného ArcGIS	29
2.4 3D Modelování v ArcGIS	32
2.5 Google SketchUp 8	36
3 Výběr vhodné lokality	39
3.1 Analýza vrstev - geografické zobrazení	39
3.2 Návrh postupu pro výběr nejvhodnější lokality pro FVE	42
4 3D modelování fotovoltaických panelů	49
4.1 Výběr obcí pro 3D modelování	49
4.2 Samotné 3D modelování vybraných obcí	55
4.3 Vyhodnocení nejvhodnějších budov pro instalaci fotovoltaických panelů	58
4.4 Vizualizace fotovoltaických panelů na střechách domů a ve volném	
prostoru	59

5	Ekonomické zhodnocení FVE	66
6	Dosažené výsledky	69
7	Literatura	71
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	73
	Seznam příloh	74

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1: Sluneční zářivý tok	5
Obr. 1.2: Sluneční ohřev užitkové vody (převzato z [3])	8
Obr. 1.3: Koncentrátory tepla (převzato z [13])	8
Obr. 1.4: Funkce solárního článku (převzato z [4])	10
Obr. 1.5: Generace, separace (převzato z [12])	11
Obr. 1.6: Náhradní schéma fotovoltaického článku (převzato z [12])	11
Obr. 1.7: Zatěžovací a výkonová charakteristika FV článku (převzato z [13])	12
Obr. 1.8: Vliv teploty na výkon FV článku (převzato z [12])	13
Obr. 1.9: VA charakteristika FV článku pro různé intenzity záření (převzato z [17]) ..	14
Obr. 1.10: Sluneční spektrum	14
Obr. 1.11: Solární modul.	16
Obr. 1.12: Solární fotovoltaický systém (převzato z [5])	17
Obr. 1.13: Síťový fotovoltaický systém (převzato z [5])	18
Obr. 1.14: Příklady způsobu instalace FV systémů na budovy [4]	18
Obr. 1.15: Rozložení přímého a nepřímého záření v průběhu roku v ČR (převzato z [6])	19
Obr. 1.16: Průměrný roční úhrn doby trvání slunečního svitu [6]	20
Obr. 1.17: Průměrná roční intenzita horizontálního slunečního záření na území ČR [6].	21
Obr. 1.18: Průměrná roční intenzita horizontálního slunečního záření na území ČR [Převzato z 6].	21
Obr. 1.19: Roční průměrný počet bezoblačných dní v ČR [6].	22
Obr. 1.20: Roční průměrná intenzita slunečního záření s vyznačenými FVE s uváděným výkonem nad 5 MW [6]	23
Obr. 2.1: Ukázka analýzy vrstev v GIS (převzato z [1]).	24

Obr. 2.2: Jednotlivé mapové vrstvy (převzato z [9]).	26
Obr. 2.3: Architektura systém ArcGIS (převzato z [1])	27
Obr. 2.4: Hlavní okno ArcCatalogu.	30
Obr. 2.5: Hlavní okno ArcMap s ArcToolboxem.	30
Obr. 2.6: Ukázka 2D modelu obce.	32
Obr. 2.7: Ukázka 3D modelu obce.	33
Obr. 2.8: Multipatch formát pro 3D objekty.	33
Obr. 2.9: Profil znázorňující pokles (a) a vrchol (b) před a po provedení nástroje Fill.	34
Obr. 2.10: Ukázka 3D DMT vytvořeného nástrojem TopoToRaster	35
Obr. 2.11: Ukázka 3D DMT TIN.	35
Obr. 2.12: Hlavní okno programu SketchUp 8.	37
Obr. 2.13: 3D model s reálnou texturou	38
Obr. 3.1: Procentuální vyjádření průměrné intenzity slunečního záření na území ČR.	40
Obr. 3.2: Procentuální vyjádření průměrné doby trvání slunečního svitu na území ČR	40
Obr. 3.3: Procentuální vyjádření průměrného počtu bezoblačných dní na území ČR...	40
Obr. 3.4: Procentuální vyjádření průměrné intenzity slunečního záření na území JMK	41
Obr. 3.5: Procentuální vyjádření průměrné doby trvání slunečního svitu na území JMK	41
Obr. 3.6: Procentuální vyjádření průměrného počtu bezoblačných dní na území JMK	42
Obr. 3.7: Mapa solárního potenciálu JMK	43
Obr. 3.8: Expozice terénu JMK	44
Obr. 3.9: Sklonitost ve stupních JMK.	45
Obr. 3.10: Model Digitalizace CORINE, vytvořený v Modelbuilderu	46
Obr. 4.1: Lokalizace obce Tasov nad Veličkou.	50
Obr. 4.2: Obec Tasov nad Veličkou před a po výstavbě FVE.	50

Obr. 4.3: Celkový pohled na FVE u obce Tasov nad Veličkou.....	51
Obr. 4.4: Detailní pohled na FVE u obce Tasov nad Veličkou	51
Obr. 4.5: Lokalizace obce Ráječko	52
Obr. 4.6: Obce Ráječko před výstavbou FVE	53
Obr. 4.7: Obce Ráječko po částečné realizaci FVE	53
Obr. 4.8: Celkový pohled na místo určené pro FVE u Obce Ráječko	54
Obr. 4.9: Detailní pohled na místo určené pro FVE u Obce Ráječko.....	54
Obr. 4.10: Výškově přizpůsobené digitalizované 2D plochy FVE panelů	55
Obr. 4.11: Ukázka 3D modelu FVE v prostředí Sketchup 8	56
Obr. 4.12: Importovaný 3D model FVE panelů do prostředí ArcScene (lokalita Ráječko)	57
Obr. 4.13: Importovaný 3D model domů do prostředí ArcScene.....	57
Obr. 4.14: Celkový pohled na lokalitu Tasov nad Veličkou s realizovanou FVE.....	59
Obr. 4.15: 3D model -pohled na FVE ze svahu na východ od obce.....	60
Obr. 4.16: Fotografie -pohled na FVE ze svahu na východ od obce.....	60
Obr. 4.17: Bližší pohled na obec s realizovanou FVE.....	61
Obr. 4.18: Bližší pohled na obec bez realizované FVE	61
Obr. 4.19: Bližší pohled na obec s instalovanými FV panely na střechách domů a realizovanou FVE.....	62
Obr. 4.20: Celkový pohled na zájmovou lokalitu Ráječko	62
Obr. 4.21: Detailní pohled na místo nedokončené FVE	63
Obr. 4.22: Detailní pohled vymodelovanou FVE	63
Obr. 4.23: Fotografie místa nedokončené FVE	64
Obr. 4.24: Detailnější pohled na zájmovou lokalitu Ráječko bez FVE.....	64
Obr. 4.25: Detailnější pohled na zájmovou lokalitu Ráječko s FVE.....	65
Obr. 4.26: Detailnější pohled na zájmovou lokalitu Ráječko s FVE a FV panely	

na střeších domů.....	65
Obr. 5.1: Vývoj výroby elektřiny z OZE a její podíl na hrubé domácí spotřebě (převzato z [21]).....	66
Obr. 5.2: Procentuální zastoupení jednotlivých OZE na výrobě elektrické energie z OZE v ČR k roku 2011 [21]	66
Obr.5.3: Srovnání výkupních cen elektrické energie z obnovitelných	67

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1: Hodnoty součinitele zeslabení	6
Tab. 1.2: Využití sluneční energie.	7
Tab. 1.3: Účinnost jednotlivých typů FV článků [8].	16
Tab. 3.1: Matice hodnot pro stanovené solárního potenciálu.	43
Tab. 3.2: Ukázková tabulka analýze expozice terénu pro vybrané obce.	47
Tab. 3.3: Tabulka vybraných obcí s analyzovanými parametry.	48

ÚVOD

Využívání obnovitelných zdrojů energie je v dnešní době hodně diskutované téma a pravděpodobně ještě dlouhou dobu bude. Tato práce se zabývá využitím slunečního záření jako zdroje obnovitelné energie a výběrem nejvhodnějších lokalit pro výstavbu solárních elektráren s využitím geografického informačního systému (dále jen GIS). Jedním z cílů práce je vyhodnocení využitelnosti solární energie na území ČR. Mezi další cíle patří návrh postupu výběru vhodných lokalit k výstavbě solární elektrárny a následné 3D modelování v GIS ArcInfo.

Následující text se člení do 5 základních částí. První kapitola se věnuje sluneční energii a fyzikálnímu principu slunečního záření. Kapitola se zabývá využitím sluneční energie a její přeměnou na elektrickou energii. Popsány jsou vybrané typy instalací solárních systémů. Součástí kapitoly je rozbor podmínek využitelnosti solární energie na území ČR. GISu se věnuje druhá kapitola. Tato kapitola přibližuje použitý GIS v licenci ArcInfo. Součástí je i ukázka možnosti 3D modelování. Třetí kapitola obsahuje návrh postupu pro výběr nejvhodnější lokality pro výstavbu solární elektrárny. Čtvrtá kapitola pojednává o samotném 3D modelování zájmových lokalit. Hlavní částí kapitoly je vizualizace zájmových lokalit před a po výstavbě fotovoltaické elektrárny (dále jen FVE) se srovnáním lokalit s instalovanými fotovoltaickými (dále jen FV) panely na střechách domů. Pátá kapitola se zabývá ekonomickým zhodnocením problematiky FVE. Poslední kapitola pak shrnuje dosažené výsledky.

1 OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE

Tato práce se zabývá problematikou FVE, což je jeden z obnovitelných zdrojů energie (dále jen OZE). Dle zákona č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů) se obnovitelnými zdroji rozumí obnovitelné nefosilní přírodní zdroje energie. Jedná se o energie slunečního záření, geotermální energie, energie vody, energie půdy, energie vzduchu, energie biomasy, energie skladovaného plynu, energie kapalného plynu a energie bioplynu. Tato kapitola krátce přibližuje vybrané nejvýznamnější OZE, které se využívají na území České republiky (dále jen ČR).

Fovoltaická elektrárna využívá přímé přeměny sluneční energie na energii elektrickou pomocí fotovoltaických článků. Této formě využívání slunečné energie se podrobně věnuje další bod kapitoly.

Větrné elektrárny nemají v ČR výrazné zastoupení ve výrobě obnovitelné energie. Je to důsledek nepříznivých větrných podmínek. V oblastech vhodných pro větrné elektrárny by měla průměrná roční rychlost větru překročit hranici 5 m.s^{-1} . Nejlepší podmínky pro větrné elektrárny nabízejí horské oblasti a vrchoviny. V těchto oblastech se budují tzv. větrné háje, kde se nachází uskupení více elektráren. Jednou z výhod je nulová produkce skleníkových plynů. Nevýhodou jsou velké výkyvy ve výrobě elektrické energie způsobené proměnlivým prouděním větrů, [12], [4].

Vodní elektrárny na území ČR nemají ideální podmínky. Vodní toky nemají potřebný spád a dostatečné množství vody. Proto jsou vodní elektrárny nejčastěji součástí velkých vodních děl (např. Lipno, Orlík). Vodní elektrárny se dělí na dvě skupiny (malé a velké elektrárny). Malé vodní elektrárny mají instalovaný výkon do 10 MW. Velké elektrárny mají výkon vyšší. Princip vodní elektrárny je založen na roztočení turbíny vodou. Turbína pohání elektrický generátor, a tím dochází k přeměně energie proudící vody na energii elektrickou. Výhodou vodních elektráren je rychlý náběh na maximální výkon. Proto se využívají vodní elektrárny i jako pohotovostní záložní zdroje energie v období špičkové spotřeby, [12], [4].

Bioplyn a skladovaný plyn – zde se využívá anaerobního kvašení biomasy. Nejvíce se používají odpady z živočišné výroby, organické a komunální odpady a odpady z potravinářského průmyslu. Tyto odpady se mění na vodu, oxid uhličitý a metan. Metan je poté využíván jako palivo pro pohon motoru, který vyrábí elektrickou energii, [12], [4].

Biomasa je biologicky rozložitelná část výrobků, odpadů a zbytků ze zemědělské výroby, lesnické výroby apod. Biomasou se v podstatě rozumí přeměněná sluneční energie zachycená rostlinami díky procesu fotosyntézy. Mezi nejčastěji používané druhy biomasy patří dřevo a dřevní odpad, brikety, pelety a sláma. V elektrárnách se biomasa spaluje v kotlích, kde ohřevem vody vzniká pára, která pohání elektrický generátor. Další možností využití biomasy je zplyňování. U této varianty nejprve dojde k přeměně pevného paliva na plynné. Vzniklý plyn se pak využije k výrobě páry, [12].

1.1 Energie Slunečního záření

Sluneční energie patří mezi nejdostupnější a nejčistší zdroje energie na Zemi. Slunce vyzařuje energii na povrch Země více než 4 miliardy let. Sluneční energie je základním zdrojem energie ekosystémů. Udržuje stálý koloběh vody a stojí za vznikem větrů – je tedy nepostradatelná pro udržení života na Zemi. Sluneční energie stojí také za vznikem v dnešní době tak využívaných fosilních paliv jako uhlí, ropa nebo zemní plyn, ve kterých je uložena její energie.

Slunce

Slunce je hvězda, kolem které obíhá kromě Země ještě sedm dalších planet. Slunce má hmotnost asi 330 000 krát větší než Země. Slunce tvoří ze tří čtvrtin vodík. Vodík je zde zdrojem energie, kterou Slunce nepřetržitě vyzařuje do svého okolí (vesmíru). Teplota na povrchu Slunce se odhaduje na 5800 K. V jádru teplota dosahuje až 14 000 273 K. Energie Slunce se do okolního vesmíru přenáší prostřednictvím elektromagnetického záření různých vlnových délek. Tato záření se liší vlnovou délkou, energií fotonů, vznikem a dalšími vlastnostmi. Elektromagnetické záření tvoří tyto složky:

- radiové vlny - slouží k přenosu rozhlasového a televizního signálu. Vlnová

délka: 2000 m – 0,1 m,

- mikrovlny - mikrovlnné signály využívají radary, mobilní telefony, přístroje GPS. Tepelnými účinky mikrovln se zahřívají potraviny v mikrovlnné troubě. Vlnová délka: 0,1 m - 0,1 mm,
- infračervené záření (45 %) – vyzařují jej rozžhavená tělesa. Lidské oko toto záření neregistruje, je však vnímáno jako tepelné záření (sálání) tepelných zdrojů. Infračervené záření je součástí slunečního záření. Vlnová délka: 0,1 mm - 790 nm,
- viditelné světlo (45 %)- jediný druh elektromagnetického záření, který přímo vnímáme zrakem. Bílé světlo jde skleněným hranolem nebo optickou mřížkou rozložit podle vlnových délek na jednotlivé spektrální barvy. Viditelné světlo je významnou složkou slunečního záření, dopadajícího na zemský povrch. Vlnová délka: 790 nm - 400 nm,
- ultrafialové záření (10 %)- Slunce je přírodním zdrojem ultrafialového záření, většinu však zadrží zemská atmosféra. Vlnová délka: 390 nm – 10 nm,
- rentgenové záření - fotony rentgenového záření mají velkou energii, a proto má toto záření značnou pronikavost. Zemská atmosféra sluneční rentgenové záření nepropouští. Vlnová délka: 10 nm - 1 pm,
- záření gama - radioaktivní záření, které vzniká při jaderných reakcích v jádrech izotopů některých prvků. Vyznačuje se velkou pronikavostí a ionizačními účinky. Vlnová délka: menší než 1 pm.

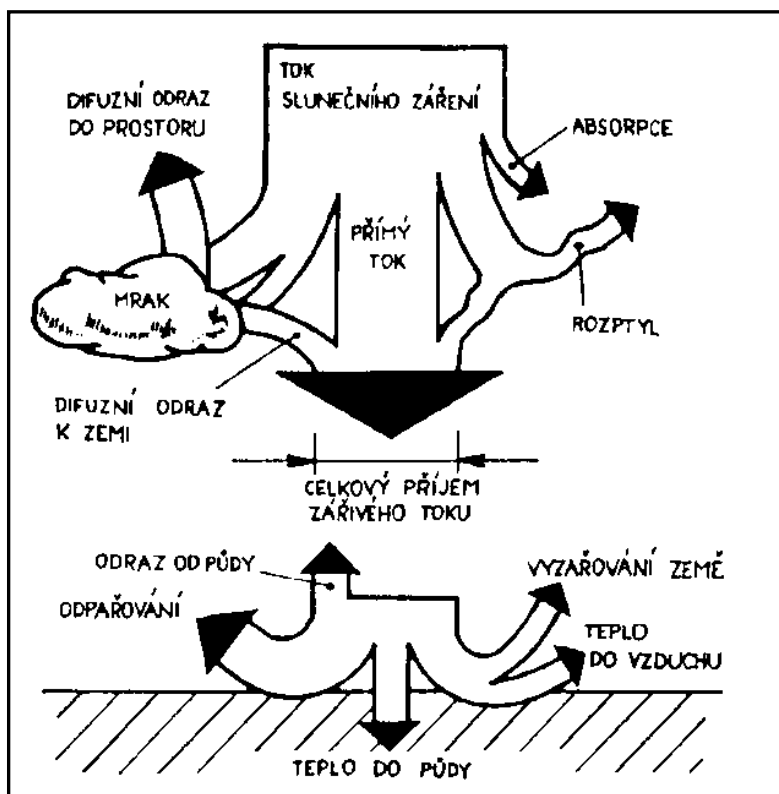
Veličiny charakterizující sluneční záření

Dopadající sluneční záření můžeme vyjádřit jeho množstvím nebo intenzitou. Obvyklou jednotkou množství dopadající sluneční energie je kWh. m⁻², tj. úhrn záření v kW, které dopadne na plochu 1 m² za 1 hodinu. Intenzitu slunečního záření vyjadřuje jednotka W. m⁻².

Na povrchu má Slunce hustotu zářivého toku asi 60 MW.m⁻². Hustota toku slunečního záření dopadajícího směrem k Zemi je 1,37 kW.m⁻². Průchodem zemskou atmosférou se tato hustota ještě snižuje. Množství energie dopadající za jednotku času

na jednotkovou plochu mimo atmosféru udává **sluneční (solární) konstanta**, která má hodnotu $1,37 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$. Z celkového slunečního výkonu ($3,8 \cdot 10^{23} \text{ kW}$) dopadne na Zemi pouze malý zlomek ($1,8 \cdot 10^{14} \text{ kW}$). Z celkového $1,8 \cdot 10^{14} \text{ kW}$ toku sluneční energie dopadajícího na zemskou atmosféru je (viz obr. 1.1):

- 19 % atmosférou absorbováno,
- 34 % difusně odraženo zpět do kosmického prostoru,
- 47 % pohlceno povrchem Země, která je tím transformována v energii tepelnou,
- 10 % vyzářeno povrchem Země jako infračervené záření mimo atmosféru,
- 20 % spotřebováno na odpařování.



Obr. 1.1: Sluneční zářivý tok

Jak je uvedeno výše, sluneční konstanta má hodnotu $1,37 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$. Skutečná hodnota dopadající na zemský povrch závisí na obsahu příměsí a atmosférickém tlaku vzduchu. Toto zeslabení nám charakterizuje součinitel znečištění (Z). Tab. 1.1 uvádí typické hodnoty součinitele zeslabení pro různé oblasti, [13].

Tab. 1.1: Hodnoty součinitele zeslabení.

Oblast	Součinitel znečištění (Z)
Místa nad 2000 m.n.m	2,0
Místa nad 1000 m.n.m	2,5
Venkov bez průmyslových exhalací	3,0
Města a průmyslová střediska	4,0
Silně znečištěné prostředí (krátkodobě až 8)	5,0

Celkové sluneční záření se skládá ze záření přímého (I_p) a difúzního (I_D). Pro přímé sluneční záření dopadajícího na plochu kolmou k paprskům, platí

$$I_{PN} = I_0 \cdot A^{-Z} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}], \quad (1.1)$$

kde A je součinitel závisící na výšce Slunce nad povrchem. Pro obecně položenou plochu platí

$$I_P = I_{PN} \cdot \cos \gamma \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}], \quad (1.2)$$

kde γ je úhel dopadu slunečních paprsků.

Difúzní záření je rozptýlené světlo po odrazu od molekul plynů, prachu a mraků. Intenzita difúzního záření vzrůstá se součinitelem Z. Při $Z=3$ obvykle nepřevyšuje hodnotu $100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, [13].

Denní a roční pohyb Slunce

Pohybem Země po oběžné dráze a rotací kolem osy dochází neustále během dne a roku ke změně polohy Slunce vůči pozorovateli. Tento pohyb Slunce po obloze způsobuje v průběhu roku změny v délce dne a noci, délce stínů, ročních období a denních teplot. Tento pohyb má také vliv na polohu západu či východu Slunce na obzoru. Všechny uvedené změny ovlivňují množství dopadajícího slunečního záření a liší se v závislosti na zeměpisných souřadnicích.

1.2 Využití sluneční energie

Slunce také způsobuje koloběh vody, při kterém se voda vypařuje, kondenzuje a vytváří mraky, ze kterých pak ve formě deště dopadá na pevninu (využití vodních elektráren). To znamená, že získaná energie má původ ve sluneční energii. Na zářivý výkon dopadající ze Slunce v daném místě má vliv zeměpisná poloha, roční i denní doba, stav atmosféry (počasí, znečištění ovzduší) a nadmořská výška.

Ze Slunce dopadá ročně na Zemi 1 540 000 000 000 GWh energie, tj. přibližně 15 000 krát více než činí celková spotřeba lidské populace na Zemi. Proto je ve využívání sluneční energie veliký potenciál do budoucna. Využití sluneční energie lze rozdělit na nepřímé a přímé (tab. 1.2 [8]). Jako nepřímé využití můžeme brát např. ohřev vzduchu a následné využití ve větrných elektrárnách. U přímého využití se sluneční energie přímo mění na jiný druh energie nebo akumuluje, [12].

Tab. 1.2: Využití sluneční energie.

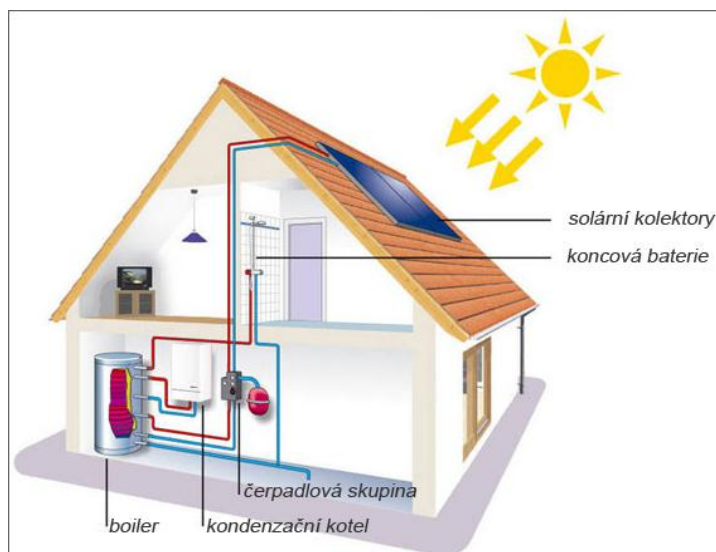
Druh	Způsob přeměny	Následné využití
Nepřímé využití	Ohřev vzduchu	Větrné elektrárny
	Vypařování vody	Vodní elektrárny
	Fotosyntéza	Organická paliva
Přímé využití	Tepelné záření	Sluneční kolektory, Sluneční tavicí pece
	Fotoefekt	Fotovoltaické systémy

1.2.1 Solární ohřev vody

Jedná se o přímé využití sluneční energie, kdy se sluneční energii přímo mění v teplo. Této přeměny využívají zařízení pro solární ohřev vody, viz obr. 1.2. Sluneční energii absorbuje (zachycuje) sluneční kolektor. Sluneční paprsky pronikají průhlednou stěnou kolektoru a dopadají na tmavou desku absorbéru uvnitř kolektoru.

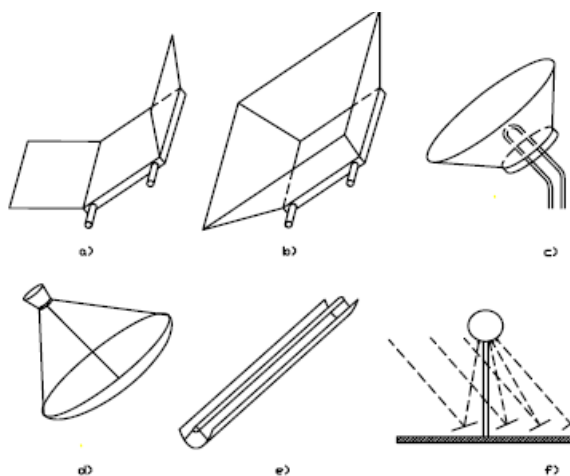
Tepelným médiem odebírajícím teplo z kolektoru je voda, nemrznoucí kapalina nebo vzduch. Pomocí výměníku tepla ohřívá proudící médium vodu v zásobníku teplé

vody. Čerpadlo zajišťuje stálý koloběh média, [8].



Obr. 1.2: Sluneční ohřev užitkové vody (převzato z [3])

Pro získání vyšší teplotní úrovně se používají koncentrátoři, které soustředí co nejvyšší možnou sluneční energii do jednoho místa.



Obr. 1.3: Koncentrátoři tepla (převzato z [13])

1.2.2 Solární fotovoltaické systémy

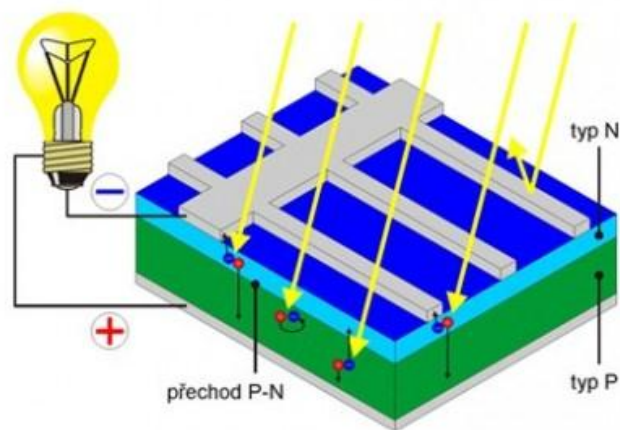
Jedná se také o přímé využití sluneční energie. Pro přímou přeměnu světelné energie na elektrickou se využívají polovodičové prvky – fotovoltaické (solární) články. Fotovoltaický článek FV vyrábí z dopadajícího slunečního záření stejnosměrný elektrický proud, [8].

Fotoelektrický jev

Prvními experimenty, při kterých byl pozorován fotoelektrický jev, se zabýval francouzský fyzik Becquerel od roku 1839. Jeho FV článek, byl založen na kovových elektrodách ponořených v elektrolytu. Vývoj prvního pevného článku se připisuje Adamsovi a Daymu, kteří jej vyrobili ze selenu v roce 1877. Frittsův článek z roku 1883 měl již účinnost kolem 1 %. Na další vývoj FV technologie mělo zásadní vliv teoretické objasnění fotoelektrického jevu Albertem Einsteinem, za které získal Nobelovu cenu v roce 1921. Pro technologii moderních křemíkových článků se stala významným objevem metoda výroby čistého monokrystalu křemíku vyvinutá Janem Czochralskim. Využití FV panelů jako zdroje energie se nejprve aplikovalo v kosmonautice. FV panely byly a stále jsou ideálním zdrojem napájení satelitů. V běžném životě byly FV články poprvé použity jako zdroje energie pro drobnou elektroniku jako kalkulačky nebo hodinky. Pro rozvoj FV energetiky byla rozhodující ropná krize v roce 1973, která pomohla urychlit proces efektivnější výroby a využití energetických zdrojů, [8], [12].

Fotovoltaický článek

Solární články pracují s vnitřním fotoelektrickým jevem, viz obr. 1.4. Světelné záření vniká do polovodičového materiálu. Na přechodu mezi P-N vrstvou uvolňuje světelná energie elektrony pohybující se v P-vrstvě. Při nedostatku elektronů zde zůstává kladný náboj, takže mezi oběma vrstvami vzniká napětí. Přes vnější odpor (žárovka) tečou elektrony zpět do P-vrstvy, [8], [12].



Obr. 1.4: Funkce solárního článku (převzato z [4])

Pro detailnější popis lze fotoelektrický jev popsat jako uvolňování elektronů z látky v důsledku absorpce elektromagnetického (slunečního) záření látkou. Absorpci působí interakce¹ světla (fotonů) s částicemi hmoty (elektrony a jádry) a mohou nastat tyto případy:

- interakce částice s mřížkou (využití nízkoenergetických fotonů),
- interakce s volnými elektrony (dochází pouze ke zvyšování teploty),
- interakce s vázanými elektrony (vznikají volné nosiče náboje, může dojít k uvolnění elektronu z vazby).

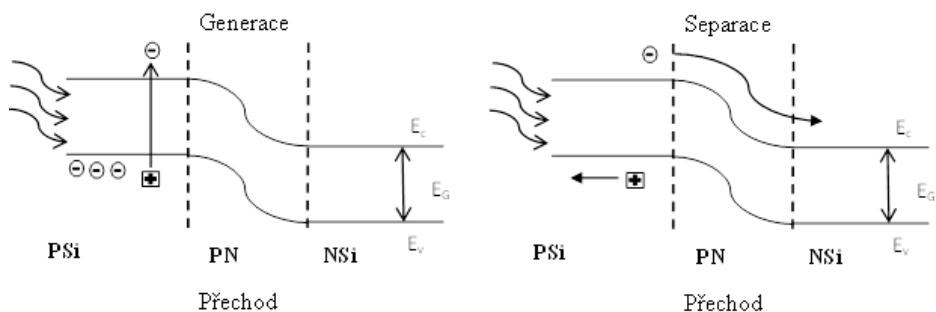
Pro funkci FV článku je zásadní, aby dopadající foton v látce uvolnil elektron, tím následně vzniká pár elektron-díra. Pro tento účel se využívá polovodičových materiálů, ve kterých elektrony a díry separuje vnitřní elektrický pól PN přechodu, na rozdíl od kovů, kde dojde k okamžité rekombinaci páru elektron-díra. Právě tomuto polovodičové materiály zamezují, viz obr. 1.5, [8], [12].

Nejjednodušší FV článek je velkoplošná dioda s jedním PN přechodem. Pro fotoelektrickou přeměnu je důležité splnění následujících podmínek:

- foton musí být pohlcen,
- foton musí excitovat elektron do vyššího vodivostního pásu,

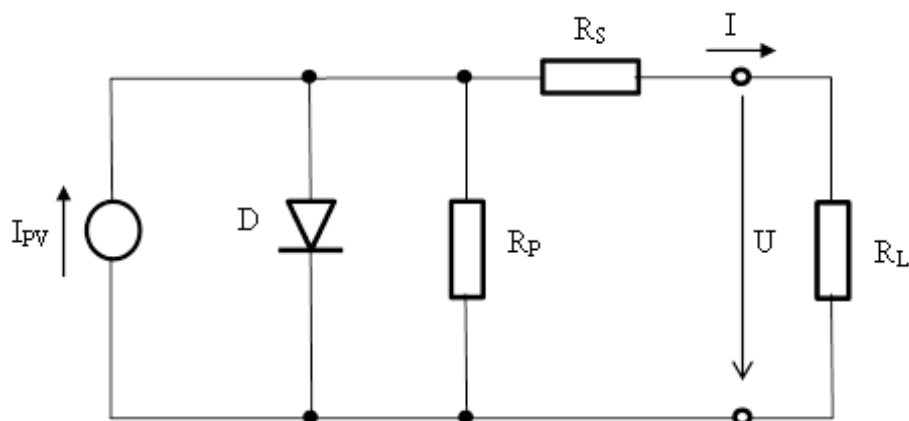
¹ Vzájemné působení mezi částicemi, tělesy či látkami.

- vzniklá dvojice elektron (-) – díra (+) musí být separována, aby se znovu nespojila,
- oddělené náboje jsou následně odvedeny ke spotřebiči.



Obr. 1.5: Generace, separace (převzato z [12])

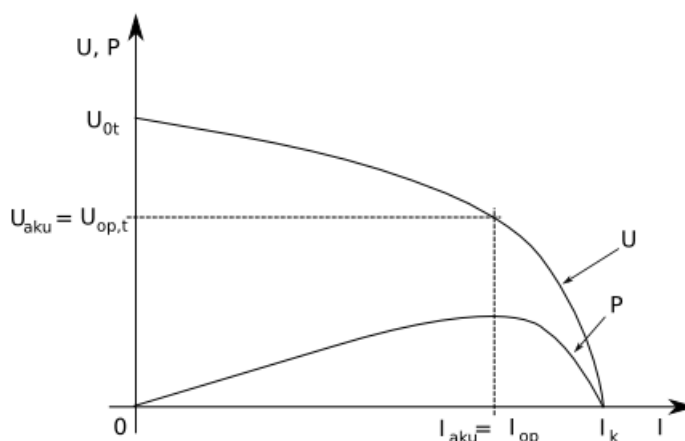
FV článek se může modelovat pomocí náhradního obvodu, znázorněného na obr. 1.6. Technologické nedokonalosti (mikrosvody) přechodu PN modeluje svodný odpor R_P , vliv odporu materiálu a proudových sběrnic modeluje sériový odpor R_S . Výstupní napětí U na FV článku je nižší o úbytek napětí na sériovém odporu, než napětí na diodě. Odpor R_S má značný vliv na voltampérovou charakteristiku fotovoltaiického článku viz obr. 1.7. Sériový odpor snižuje výstupní proud, a tím i celkovou účinnost, [12], [8].



Obr. 1.6: Náhradní schéma fotovoltaiického článku (převzato z [12])

Voltampérová charakteristika FV článku

Voltampérová charakteristika informuje o činnosti FV článků (obr. 1.7). Hraniční veličiny na voltampérové charakteristice se nazývají napětí naprázdno (U_{0C}) a proud nakrátko (I_{SC}). Napětí naprázdno představuje maximální napětí na článku, kterého lze dosáhnout v případě, že ke článku není připojen žádný spotřebič. Proud nakrátko představuje maximální proud (zkratový proud), jenž může článek při dané intenzitě záření dodávat, [12].



Obr. 1.7: Zatěžovací a výkonová charakteristika FV článku (převzato z [13])

Výkon solárního článku se určuje jako součin proudu a napětí. Pro každý článek existuje pracovní bod na charakteristice s největším výkonem. Tento bod se označuje jako bod maximálního výkonu (MPP) o napětí U_{mp} a proudu I_{mp} . Výkon určitého fotovoltaického článku (P) závisí na ozáření, na spektru světla a na teplotě článku, [12], [13].

$$P = U_{mp} \cdot I_{mp}, \quad [\text{kWp}] \quad (1.3)$$

Dalšími charakteristickými provozními hodnotami FV článku jsou činitel plnění FF- (Fill Factor) a účinnost η .

Činitele plnění charakterizuje podíl maximálního výkonu v bodu MPP a maximálního výkonu definovaného pomocí maximálního napětí a maximálního proudu, [12].

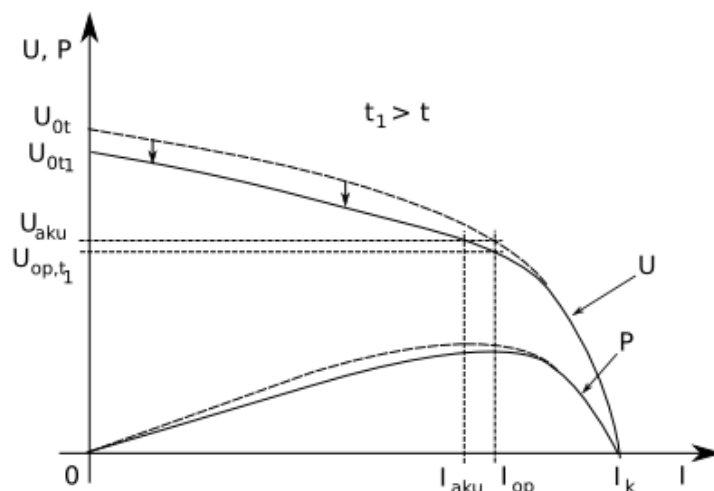
$$FF = \frac{U_{mp} \cdot I_{MP}}{U_{0C} \cdot I_{SC}}, \quad [-] \quad (1.4)$$

Pro účinnost FV článku lze napsat rovnici (1.3). Z rovnice vyplývá, že účinnost definujeme jako podíl maximálního výkonu článku v bodu MPP a výkonu dopadajícího slunečního záření (P_{in}), [8].

$$\eta = \frac{U_{mp} \cdot I_{mp}}{P_{in}} \quad [-] \quad (1.5)$$

Tyto výše uvedené charakteristické veličiny se vždy určují za standardních testovacích podmínek, tj. při standardní testovací teplotě $STC=25^{\circ}C$, intenzitě slunečního záření 1000 W.m^{-2} a definované vzduchové hmotě (Air Mass) $AM=1,5$. Na průběh voltampérové charakteristiky má vliv především hodnota intenzity slunečního záření a teplota.

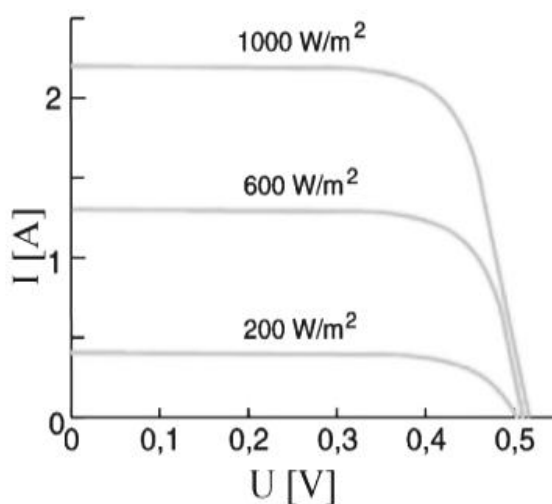
Vlivem zvýšené teploty dojde ke zvýšení fotoproudu, ale pouze nepatrně. Při déle trvající sluneční intenzitě nebo nedostatečném chlazení článku, kdy dojde ke zvýšení povrchové teploty až na $80^{\circ}C$, dochází ke snížení zatěžovací charakteristiky směrem k nižšímu napětí, viz obr. 1.8.



Obr. 1.8: Vliv teploty na výkon FV článku (převzato z [12])

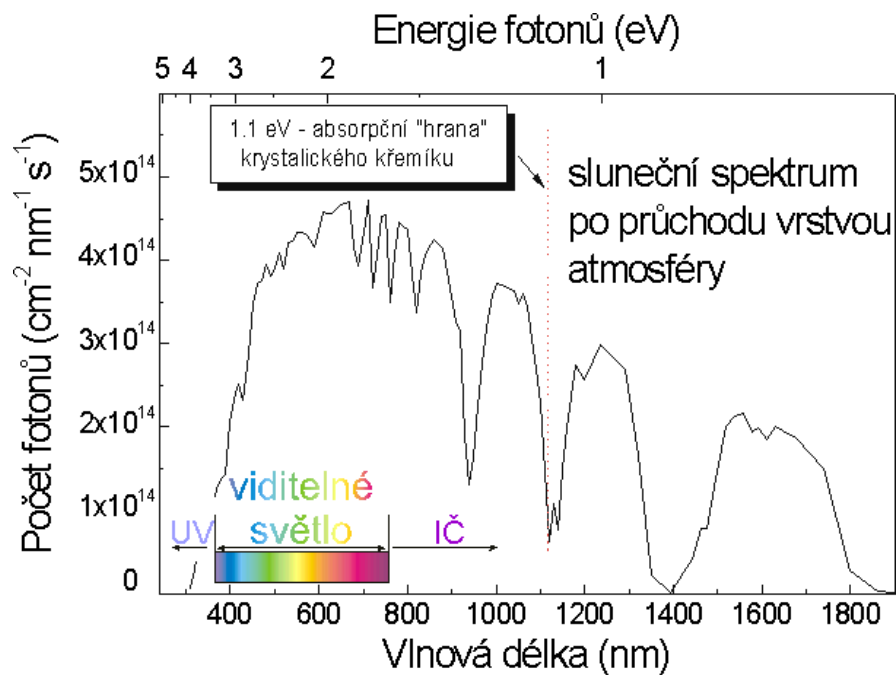
Účinnost FV článku dále závisí na intenzitě dopadajícího záření a na velikosti sériového a paralelního odporu. V případě malého sériového odporu R_s účinnost článku s rostoucí intenzitou záření roste, dosahuje maxima a až při velkých intenzitách záření začíná klesat. V případě velkého sériového odporu účinnost článku s rostoucí intenzitou záření klesá (tento efekt se projevuje zejména u tenkovrstvých FV článků). Jako příklad

slouží obr. 1.9, na němž lze vidět VA charakteristika FV článku o velikosti 100 cm^2 pro různé intenzity osvětlení, [8], [12].



Obr. 1.9: VA charakteristika FV článku pro různé intenzity záření (převzato z [17])

Jedním ze základních požadavků na FV články je schopnost pohlcovat co nejširší oblast slunečního spektra a co nejlépe využít energii fotonu. obr. 1.10 představuje ukázkou využitelného spektra záření u FV panelu z krystalického křemíku. Po překročení absorpční hrany již nedochází k přeměně sluneční energie na elektrickou.



Obr. 1.10: Sluneční spektrum

Technologický vývoj solárních článků

- články první generace

Nejčastější využití desek monokrystalického křemíku, které společně tvoří PN přechod. Dnes jsou nejrozšířenější technologií na trhu. Z 90 % tvoří část dnes nabízených článků. Mají dobrou životnost v podobě zachování účinnosti. Ta se pohybuje v rozmezí od 14 % do 17 %. Pro laboratorní účely může účinnost dosáhnout až 25 %. Nevýhodou je relativně drahá výroba a velká spotřeba čistého křemíku při výrobě, [5], [12].

- články druhé generace

Rozdíl u článků první generace a druhé generace tvoří snížená spotřeba čistého křemíku pro výrobu článku. Dalším rozdílem je používání jiných prvků než křemíku (polykrystalický a amorfni křemík). Články druhé generace se vyznačují sníženou tloušťkou vrstvy 100 krát až 1000 krát, což vede ke snížení hmotnosti a zlepšení pružnosti FV článků. Nevýhodou je snížená účinnost přibližně o 10 %, [5], [12].

- články třetí generace

Hlavním cílem je dosažení maximálního počtu absorbovaných fotonů, a to formou několikanásobných přechodů přes tenké vrstvy. Jde o snahu využít jiného oddělovacího přechodu než jen PN přechod (fotogalvanické články, nanostruktury nebo kvantové tečky). Zatím jediným komerčně fungujícím článkem třetí generace jsou vícevrstvé struktury, z nichž každá substruktura absorbuje určitou část spektra a maximalizuje tak energetickou využitelnost fotonů, [5], [12].

- články čtvrté generace

Tato generace se především snaží využít celého spektra dopadajícího slunečního záření a také vytvořit několikavrstvé profily, kde by každá vrstva byla naladěna na využití jiné vlnové délky, [12].

Solární modul (panel):

Napětí jednoho solárního článku závisí na polovodičovém materiálu, např. u křemíku 0,5 V až 0,6 V. Proud narůstá s intenzitou osvětlení. K dosažení většího napětí se články řadí sériově, k dosažení většího proudu paralelně a sestavují se do solárních modulů nebo také solárních panelů, viz obr. 1.11.



Obr. 1.11: Solární modul.

Např. panel o ploše $0,5 \text{ m}^2$ dává při 17 V proud 3,1 A, což udává výkon 53 W. Solární články se rozlišují podle struktury použitého křemíku, na které závisí účinnost i cena. S monokrystalickými články se dosáhlo laboratorní účinnosti 35,2 % a v běžně vyráběných solárních panelech kolem 17 %. Účinnost článku klesá s teplotou. Následující tab. 1.3 uvádí souhrn účinnosti jednotlivých článků při běžných podmínkách, [8].

Tab. 1.3: Účinnost jednotlivých typů FV článků [8].

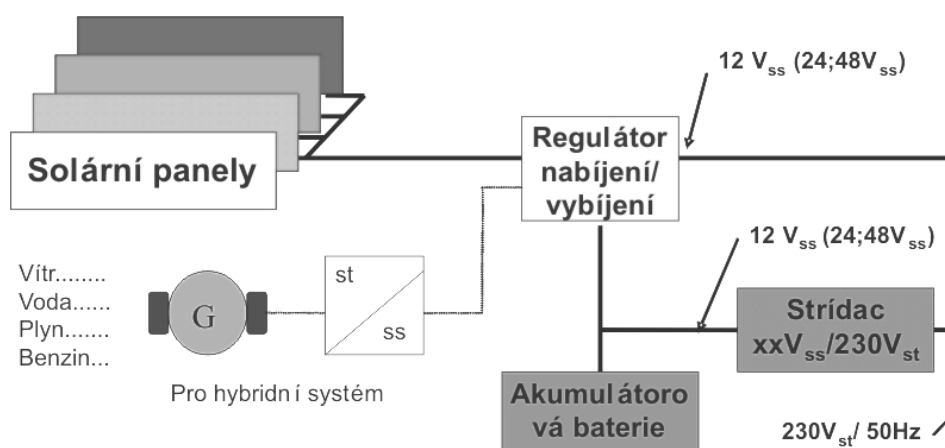
Struktura buněk	Materiál	Účinnost
Monokrystalické	Si	asi 17%
Polykrystalické	Si	asi 14%
Amorfni	Si	asi 8%
Směs polovodičů	GaAs, CdTe, CuInSe	12% až 20%

Panel musí být hermeticky uzavřen tak, aby nedošlo ke znečištění nebo poškození solárních článků. V důsledku působení silného větru, krupobití, sněhových vánic apod. musí být modul dostatečně odolný vůči mechanickému a klimatickému působení.

Jednotlivé konstrukce solárních panelů se mohou lišit dle druhu použití. Přední krycí materiál tvoří speciální kalené sklo, které odolává i silnému krupobití.

Solární izolovaný fotovoltaický systém:

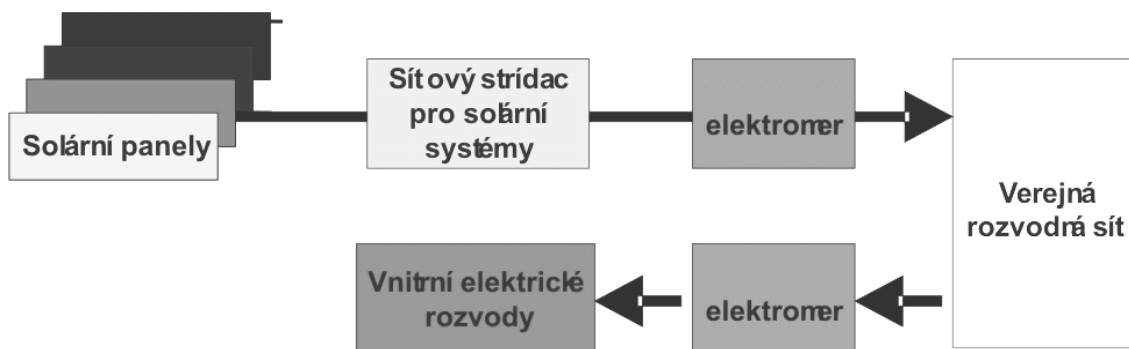
Zapojení fotovoltaického systému se řídí dle místa a požadovaného využití. Je-li použit systém v místě bez dostupnosti elektrické sítě, jedná se o izolovaný fotovoltaický systém, viz obr. 1.12. Někdy se také setkáme s označení ostrovní systém či systém grid-off. Výkony těchto systému se pohybují v rozmezí 1W až 10kW. Dbá se na minimalizaci ztrát energie a používání méně náročných spotřebičů. Součástí systému tvoří akumulátor. Důležitou součástí je také regulátor nabíjení, který provede odpojení v případě plně nabitých baterií. Toto můžeme považovat za určitou nevýhodu v tom směru, že nevyužijeme veškerou vyrobenou elektrickou energii. Systém lze využít pro napájení spotřebičů se stejnosměrným nebo střídavým napájením, [8], [18].



Obr. 1.12: Solární fotovoltaický systém (převzato z [5])

Síťový fotovoltaický systém:

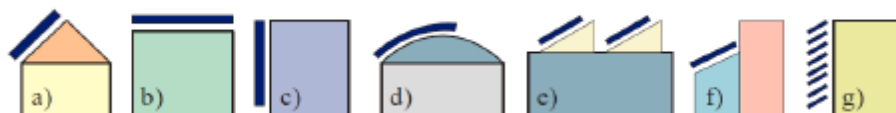
Jedná se o systém, který dodává elektrickou energii do rozvodné sítě přes síťový střídač. Tento systém vyžaduje větší počet solárních panelů, viz obr. 1.13. V měniči (síťový střídač) se stejnosměrný proud ze solárních panelů mění na střídavý. Fotovoltaický systém tohoto typu při využití v běžném rodinném domě tvoří doplněk síťového napájení a dodává proud do sítě. Z důvodu jiného tarifu pro energii dodávanou do sítě a pro energii odebíranou ze sítě potřebujeme v domě dva elektroměry. Výhodou tohoto systému je zpracování veškeré vyrobené energie, na rozdíl od předchozího systému, [8], [18].



Obr. 1.13: Síťový fotovoltaický systém (převzato z [5]).

1.2.3 Umístění fotovoltaických panelů na budovy

Budovy a jejich stěny (nesmí být stíněné) jsou vhodnými plochami pro instalování FV systémů. Jednotlivé příklady instalací FV systému na budovy znázorňuje obr. 1.14. Jednotlivé typy instalací se označují jako: a.) šikmá střecha, b.) plochá střecha, c.) fasáda, d.) tenkovrstvá FV pro velké střešní plochy, e.) průmyslové aplikace, f.) semitrparentní FV pro atria a výplně otvorů, g.) vnější stínící a clonící systémy).



Obr. 1.14: Příklady způsobu instalace FV systémů na budovy [4]

Pro maximální využití sluneční energie se zdá nejideálnější orientace panelů na jižní stranu. Odklon panelů o několik stupňů směrem na jihozápad nebo jihovýchod má minimální vliv na celkovou vyprodukovanou energii. Při změně orientace do 20° od jižního směru se uvádí snížení výkonu FV systému o 5 %. Pro případ orientace na západ nebo na východ se pokles výkonu udává až 25 %, [12], [18].

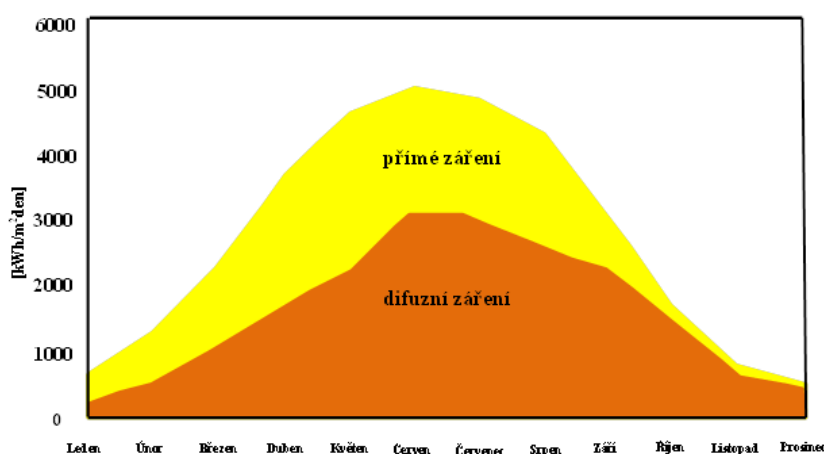
Ideální sklon pevně instalovaných panelů v našich zeměpisných šířkách je okolo 33° . Jedná se o kompromis mezi vytížeností elektrárny při Slunci nacházejícím se blíže k horizontu (zimní období) a vysoko na obloze (letní období). I zde platí, že rozdíl v instalaci mírně odlišné od optimální polohy má pouze negativní vliv na celkovou vytíženost, [12].

Důležitý faktor při instalaci FV systému na budovy tvoří zastínění FV panelů, které mohou způsobit vzrostlé stromy, sloupy elektrického vedení, sousední budovy a jiné. Zastínění FV panelů způsobí velké snížení celkového výstupního výkonu FV systému.

Pro zvýšení efektivity FV panelů lze využít FV systémy s natáčením panelů ke Slunci. Tyto systémy řídí počítače a vyžadují oproti běžné instalaci vyšší vstupní náklady na instalaci. S porovnáním s běžnými pevně instalovanými systémy nabízejí větší efektivitu, ale za cenu již zmíněné vyšší investice pro instalaci a další údržbu.

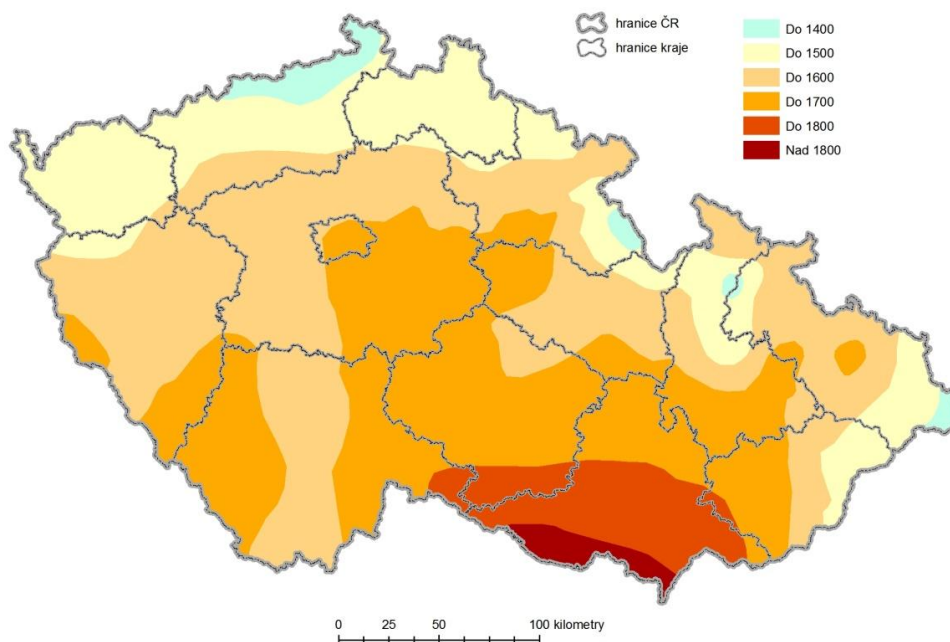
1.2.4 Podmínky pro umístění fotovoltaických panelů v ČR

Na zářivý výkon dopadající ze Slunce v daném místě má vliv zeměpisná poloha, roční i denní doba, stav atmosféry (počasí, znečištění ovzduší) a nadmořská výška. FV modul může vyrábět elektrickou energii i v době nepřímého (difuzního) osvětlení. Nepřímé osvětlení vzniká při průchodu slunečního záření mraky, kde dojde k rozptýlení záření. Podíl přímého a nepřímého záření pro ČR uvádí obr. 1.15. V jasné dny bývá podíl nepřímého záření menší než v zamračené dny. Podíl nepřímého záření výrazně roste v podzimním a zimním období. V zimním období záření ubývá, a to z důvodu polohy Slunce vyskytujícího se blíže k horizontu. Jako další důvod lze uvést i kratší dny v tomto období.



Obr. 1.15: Rozložení přímého a nepřímého záření v průběhu roku v ČR (převzato z [6])

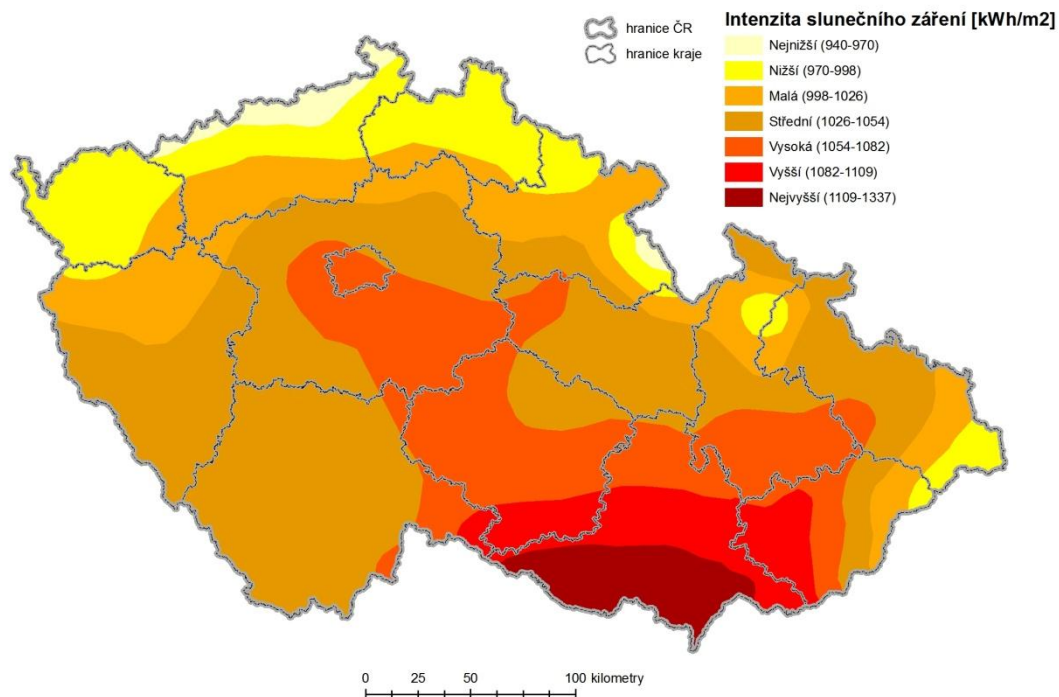
Na území ČR se celková doba slunečního záření v průběhu roku udává v rozmezí od 1400 do 1800 hodin za rok, viz obr. 1.16.



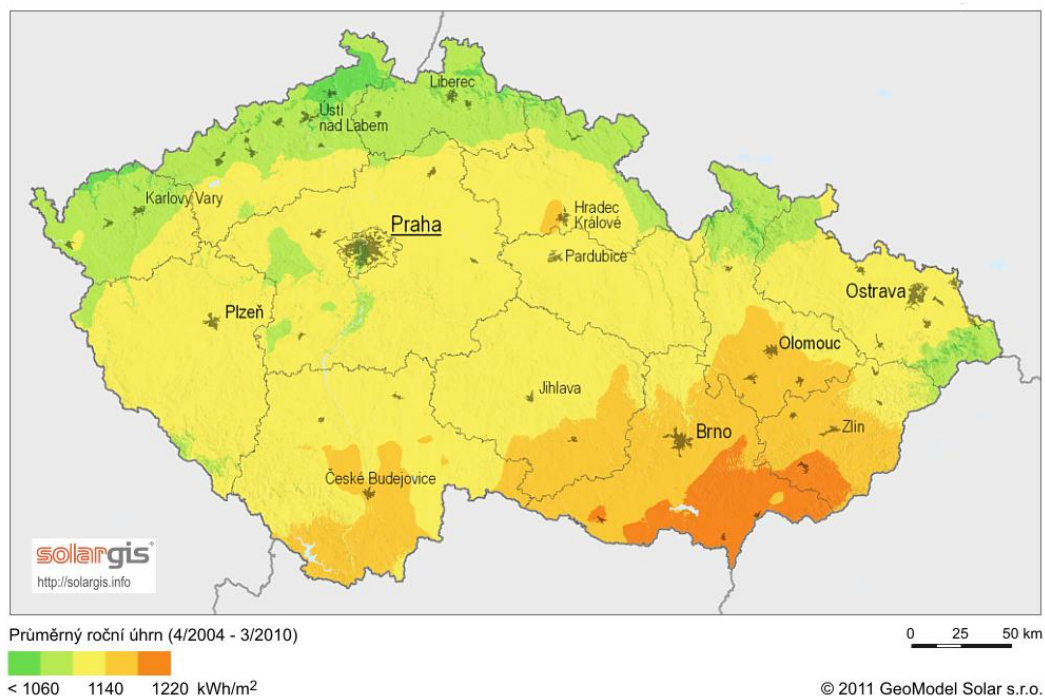
Obr. 1.16: Průměrný roční úhrn doby trvání slunečního svitu [6]

Ročně dopadne na území ČR energie průměrně 1081 kWh/m^2 . V našich podmínkách standardní statický FV systém s výkonem 1 kW_p může vyrobit $900 - 1000 \text{ kWh}$ elektrické energie ročně. Z tohoto množství dopadá 75 % energie v době od dubna do února a 25 % ve zbývající části roku, [15].

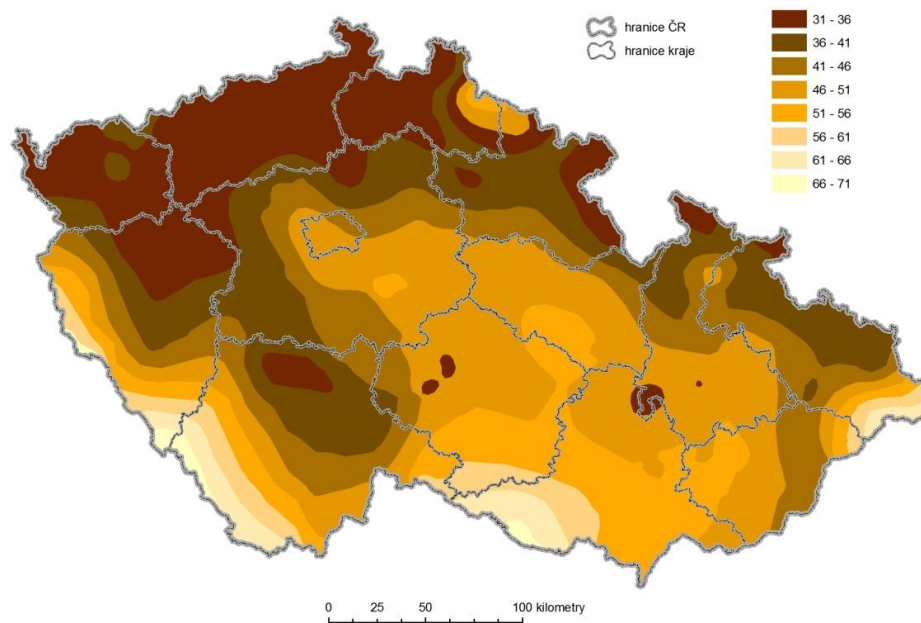
Jako základní podklad pro určení nejvhodnějších lokalit pro umístění FV panelů na území ČR mohou sloužit tyto mapy: Mapa průměrné roční intenzity horizontálního záření, viz obr. 1.17 a obr. 1.18, mapa průměrného ročního úhrnu doby trvání slunečního svitu, viz obr. 1.16, a mapa počtu průměrných bezoblačných dnů, viz obr. 1.19. Údaje k mapám na obrázcích obr. 1.16, obr. 1.17 a obr. 1.19 byly čerpány z webových stránek Českého Hydrometeorologického ústavu (dále jen CHMÚ). Platnost dat se datuje k roku 2009. Mapa na obr. 1.18 byla získána z webových stránek společnosti GeoModel Solar (solargis.info). Tato mapa uvádí průměrný roční úhrn intenzity slunečního záření pro období duben 2004 až březen 2010.



Obr. 1.17: Průměrná roční intenzita horizontálního slunečního záření na území ČR [6].

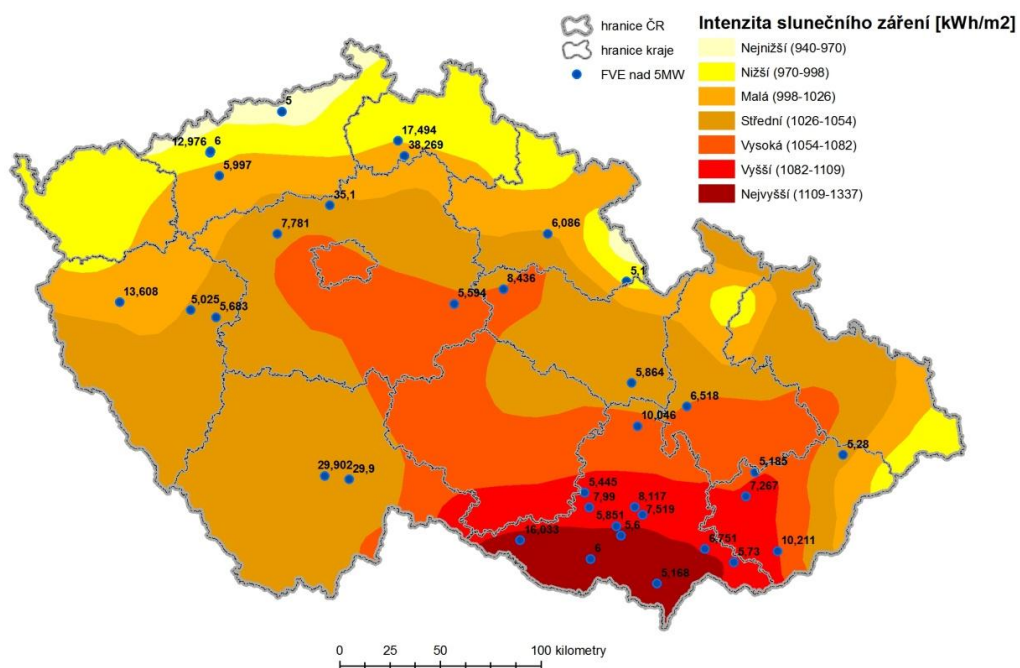


Obr. 1.18: Průměrná roční intenzita horizontálního slunečního záření na území ČR [Převzato z 6].



Obr. 1.19: Roční průměrný počet bezoblačných dní v ČR [6].

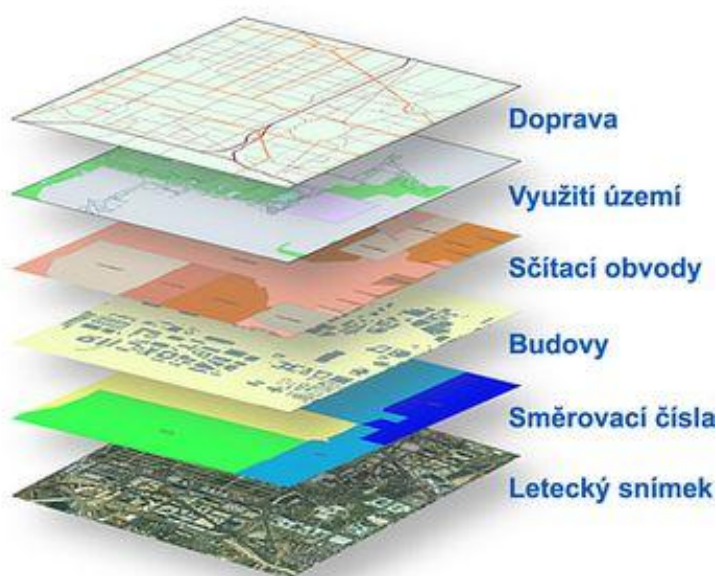
Z údajů na mapách lze určit jako nejvhodnější území pro instalaci FV systémů oblast Jihomoravského kraje (dále jen JMK). Méně vhodné oblasti pro instalaci FV systémů se naopak nachází na severním a západním území ČR. Na území JMK je největší úhrn doby trvání slunečního svitu v hodinách na území ČR. V počtu bezoblačných dní se jižní Morava také řadí mezi výhodné lokality. Z údajů o intenzitě slunečního záření, které byly čerpány ze dvou zdrojů, se jižní Morava opět řadí mezi nejvhodnější lokality. Na mapě znázorněné na obr. 1.20 je vidět zastoupení FVE s výkonem na 5 MW. Údaj platí k datu 1.6.2011. Také z této mapy je patrné, že největší zastoupení FVE má oblast JMK.



Obr. 1.20: Roční průměrná intenzita slunečního záření s vyznačenými FVE s uváděným výkonem nad 5 MW [6]

2 GEOGRAFICKÝ INFORMAČNÍ SYSTÉM

Geografický informační systém (dále jen GIS) můžeme charakterizovat jako informační systém, v němž lze pracovat (ukládat, spravovat, analyzovat) s prostorovými daty, viz obr. 2.1. Dále může definovat GIS jako organizovaný soubor počítačového hardwaru, softwaru a geografických údajů (naplněné báze dat) navržený pro efektivní získávání, ukládání, upravování, obhospodařování, analyzování a zobrazování všech forem geografických informací. Prakticky to znamená, že zaznamenává údaje např. o různých intenzitách slunečního záření pro různá území České republiky. Propojením prostorových a vlastních zpracovávaných údajů vznikají geografická (prostorová) data. GIS je počítačový systém, který s těmito daty pracuje.



Obr. 2.1: Ukázka analýzy vrstev v GIS (převzato z [1]).

GIS najde uplatnění v celé řadě lidských činností, kde je zapotřebí spojení zpracovávaných údajů s prostorovým umístěním, např. pro vojenské účely, zemědělství, životní prostředí, dopravu, správu inženýrských sítí, veřejnou správu apod. GIS s sebou nese řadu výhod oproti klasickým mapám. Jako jednu z největších výhod lze uvést možnost propojení prostorových dat s atributovými daty z databáze a jejich následné

zpracování. V databázi lze podle námi zadaných parametrů vybrat požadované údaje a následně je prezentovat spolu s prostorovou informací.

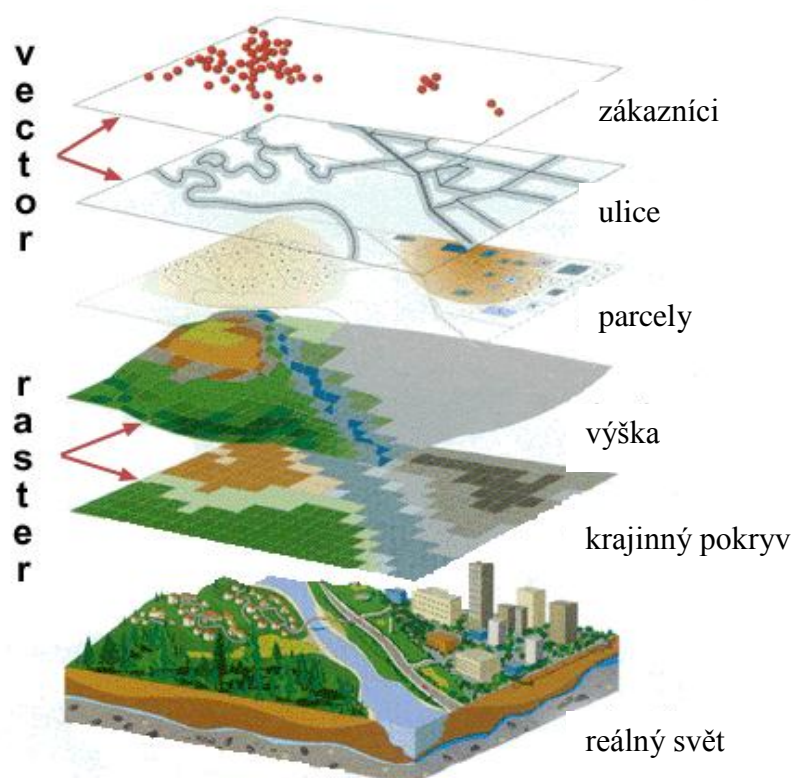
V dnešní době existuje celá řada GIS. Pro tento projekt byl zvolen GIS od firmy Environmental Systems Research Institute (dále jen ESRI), který nese název ArcGIS. V České republice jej dodává společnost ARCDATA Praha, s.r.o. Informace o společnosti jsou dostupné prostřednictvím www.arcdata.cz. Výhodu využití tohoto GISu představuje použití u nynějšího zaměstnavatele autora.

2.1 Reprezentace prostorových dat

U každého informačního systému (programu, aplikace apod.) je vždy potřeba znát, s kterými daty a s jakými formáty dat daný informační systém pracuje. V práci jsou uvedena jednotlivá data, se kterými se každý uživatel GIS setká.

Každý objekt zpracovávaný v GIS má svou prostorovou dimenzi, tj. jeho prostorové rozšíření v různých směrech prostoru (podle os). Podle potřeby geometrického modelování se rozlišují objekty podle dimenze jako, [10]:

- objekty bezrozměrné 0D (body s definovanou polohou),
- objekty jednorozměrné 1D (úseky čar s konečnou délkou, ale s nulovou plochou),
- objekty dvojrozměrné 2D (polygony),
- objekty trojrozměrné 3D.



Obr. 2.2: Jednotlivé mapové vrstvy (převzato z [9]).

Prostorová data se dělí do dvou skupin, a to na vektorová a rastrová:

Vektorová data - v ArcGIS je nalezneme ve formátu shapefiles (.shp). Vektorová data prezentuje forma čar (linií např. cesty, řeky) nebo čar tvořící uzavřenou plochu (území státu, plocha zástavby). Základem vektorové reprezentace dat je bod. Jednotlivé body mezi sebou propojují linie. Každý bod udává jeho souřadnice a z pohledu geometrického nemá žádný rozměr. Jednotlivé typy vektorových dat:

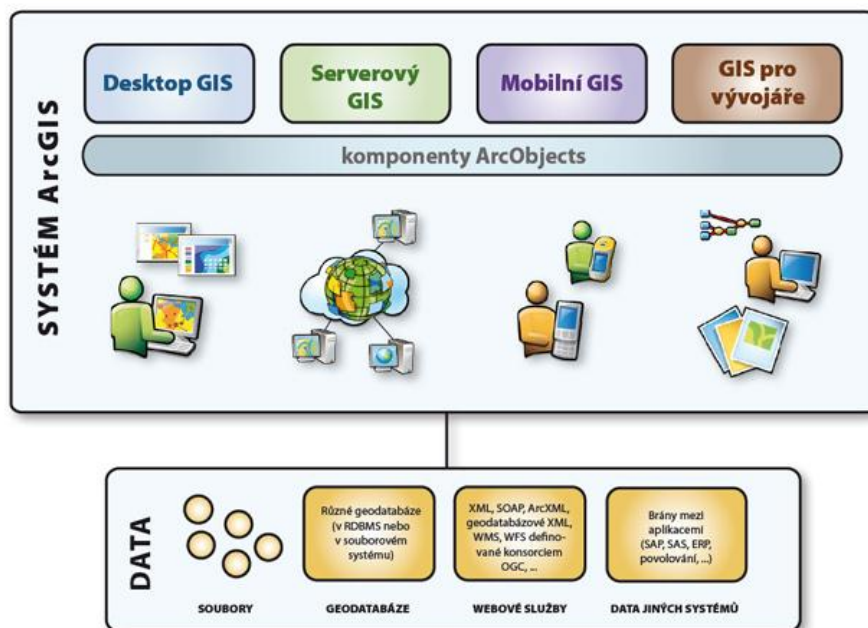
- bod – definována souřadnicemi x, y,
- linie – posloupnost dvojic souřadnic x, y,
- polygon – uzavřená posloupnost dvojic souřadnic x, y. Tvoří uzavřenou plochu.

Rastrová data – tvoří je pravidelná pravoúhlá síť bodů (buněk, pixelů). Všechny buňky mají stejně definovaný rozměr a polohu x, y. V ArcGIS jsou ve formátech GeoTiff, Imagine Image a ESRI Grid.

2.2 Architektura ArcGIS

Systém ArcGIS, viz obr. 2.3, je jedním z nejkompexnějších GISu na světovém trhu. Rozčlenění ArcGIS je následující:

- desktop GIS – integrovaná sada profesionálních aplikací GIS,
- serverový GIS – komplexní nástroj umožňující, správu, analýzu a vizualizaci prostorových dat v online prostředí,
- mobilní GIS – sada určená pro mobilní zařízení (např. ArcPad),
- GIS pro vývojáře – sada softwarových komponent pro vývoj uživatelských aplikací.



Obr. 2.3: Architektura systém ArcGIS (převzato z [1])

Kategorie ArcGIS Desktop obsahuje produkty ArcView, ArcEditor, ArcInfo a volně dostupný prohlížeč pro publikování map ArcReader. Každý z těchto produktů nabízí rozdílnou úroveň programového vybavení, [1].

- ArcView - slouží především k zobrazování dat GIS, jejich analýze a k tvorbě mapových výstupů. Disponuje základními nástroji pro tvorbu, správu a editaci dat, [1].

- ArcEditor - slouží všem, kteří chtějí vytvářet, upravovat a spravovat vektorové datové formáty (geodatabáze, shapefile) a provádět kontroly topologie dat. Má plnou funkcionalitu ArcView a navíc rozšířené editační možnosti pro geodatabáze, [1].
- ArcInfo - je určeno specialistům, kteří chtějí maximálně využít potenciálu GIS, provádět sofistikované analytické úlohy a vytvářet profesionální mapové a jiné výstupy. Obsahuje množství nástrojů určených pro zvýšení produktivity práce s geografickými daty a funkcionalitu obou předchozích produktů obohacuje o rozšířené prostorové operace, [1].

Produkty z kategorie ArcGIS Desktop tvoří aplikace **ArcMap**, **ArcCatalog** a **ArcToolbox**.

ArcMap – je centrální aplikace použitelná pro všechny mapově orientované úlohy, včetně prostorových analýz a editace dat.

ArcCatalog – pomáhá organizovat a zpracovávat všechna data. Jeho součástí tvoří nástroje pro prohlížení a vyhledávání v geografických informacích.

ArcToolbox - aplikace obsahující nástroje pro prostorové operace.

Jako možnost pro přizpůsobení méně složitých úprav lze použít grafické programovací prostředí ModelBuilder, pro náročnější postupy slouží integrovaný programovací jazyk Python.

Nadstavby ArcGIS Desktop:

Nadstavby lze využít pro rozšíření programového prostředí. Nadstavby umožní úlohy jako např. práce s rastrovými daty, 3D analýza apod. Nadstavby lze plně využít ve všech úrovních ArcGIS Desktop (ArcView, ArcEditor a ArcInfo).



Příklad vybraných nadstavb:

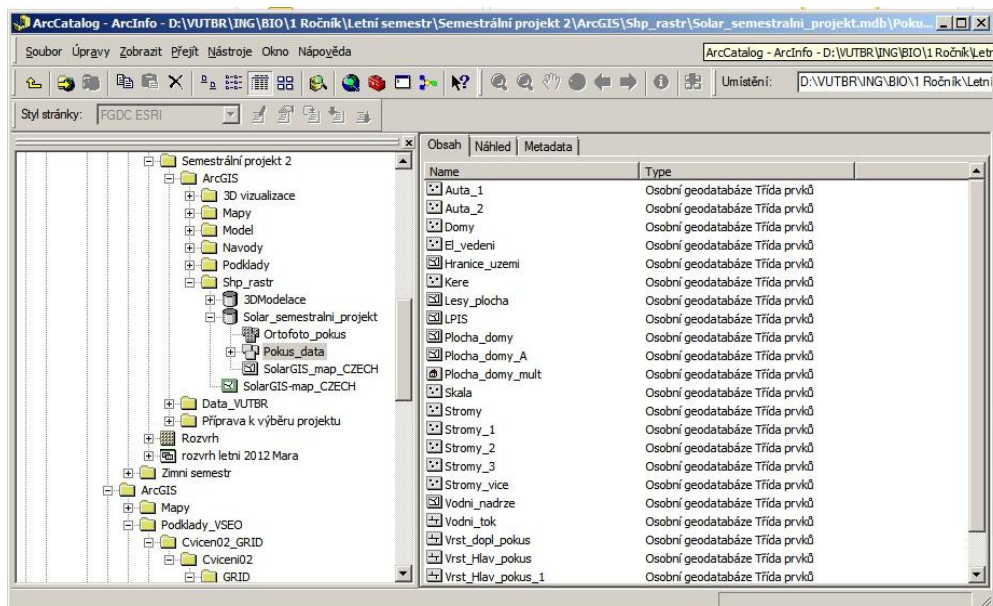
- **3D Analyst** – tvorba 3D dat pro GIS (datové modely GRID, TIN, 3D shapefile), plnohodnotné využití aplikací ArcScene a ArcGlobe – model území jako interaktivní 3D GIS, nástroje pro analýzu a simulaci 3D dat, simulace pohybu územím v reálném čase, videozáznam pohybu.

- **ArcGIS Data Interoperability** - přímé čtení, převod a export více než 100 různých datových formátů, nástroje pro převod a využití dat v různých formátech, možnost tvorby vlastních transformačních nástrojů prostřednictvím aplikace FME, možnost tvorby vlastních převodních formátů.
- **ArcGIS Spatial Analyst** - analýza dat, která se v území spojitě mění (nadmořská výška, demografická data, znečištění apod.), interpolace měřených hodnot, kombinace rastrových a vektorových dat (mapová algebra), modelování a analýza terénu, hydrologické modelování.

Pro řešení projektu byl zvolen ArcGIS 9.3 v produktové řadě ArcInfo.

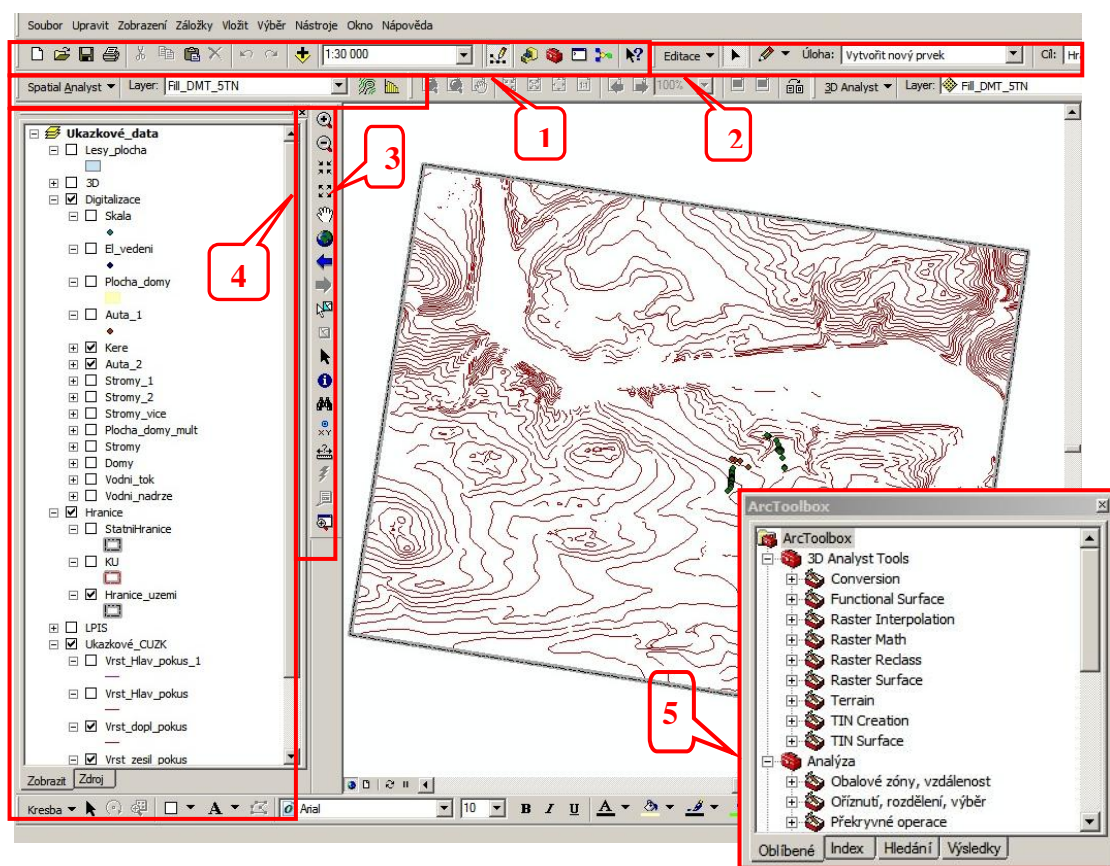
2.3 Popis vybraného ArcGIS

Následující kapitola přibližuje ArcGIS 9.3 v licenci ArcInfo. Jak již bylo napsáno v kapitole 2.1 ArcInfo je nejvybavenější produkt u řady ArcGIS Desktop. Tvoří jej aplikace ArcCatalog, viz obr. 2.4, ArcMap, viz obr. 2.5, ArcGlobe a ArcScene. Hlavní funkcí ArcCatalogu je správa dat určených k použití v ArcMap. V katalogu je možno vidět, která data lze využít pro práci. Z jeho hlavního okna lze spustit ArcMap  a ArcToolbox , který obsahuje širokou sadu nástrojů pro práci s geografickými daty. Na levé straně ArcCatalogu se nachází adresářový strom, na pravé straně pak obsah adresářů a tři záložky: obsah, náhled a metadata. V záložce „obsahu“ lze vidět seznam připojitelných souborů (bodové, liniové a polygonové soubory). Náhled souboru je možné vidět v záložce „náhled“. Poslední záložka „metadata“ obsahuje informace o souboru a nachází se v něm i historie prováděných operací pro daný soubor.



Obr. 2.4: Hlavní okno ArcCatalogu.


Obr. 2.5 představuje hlavní okno ArcMap včetně spuštěného ArcToolboxu. Jednotlivými čísly byly označeny bloky nejvyužívanějších částí programu.



Obr. 2.5: Hlavní okno ArcMap s ArcToolboxem.

V bloku 1 lze otevřít, ukládat a tisknout výkresy. Nastavit měřítko zobrazení (1:30 000). Vybrané ikony z **bloku 1**:

 - připojení souborů,

 - nastavení měřítka,




 - spuštění ArcCatalogu,

 - spuštění ArcToolboxu,

 - spuštění příkazového řádku,

 - spuštění ModelBuilderu,

Blok 2 – editace:

   - nástroj pro editaci vektorových vrstev.

Blok 3 – nástroje



 - zvětšení, zmenšení,

 - pevné zvětšení (zmenšení),

 - předchozí a další výběr,

 - výběr prvků, zrušení výběru prvků,

  - identifikace, hledání,

  - hledání bodu dle souřadnic (x,y), měření (délka, plocha).

Blok 4 – správa vrstev

Blok 5 – ArcToolbox

2.4 3D Modelování v ArcGIS

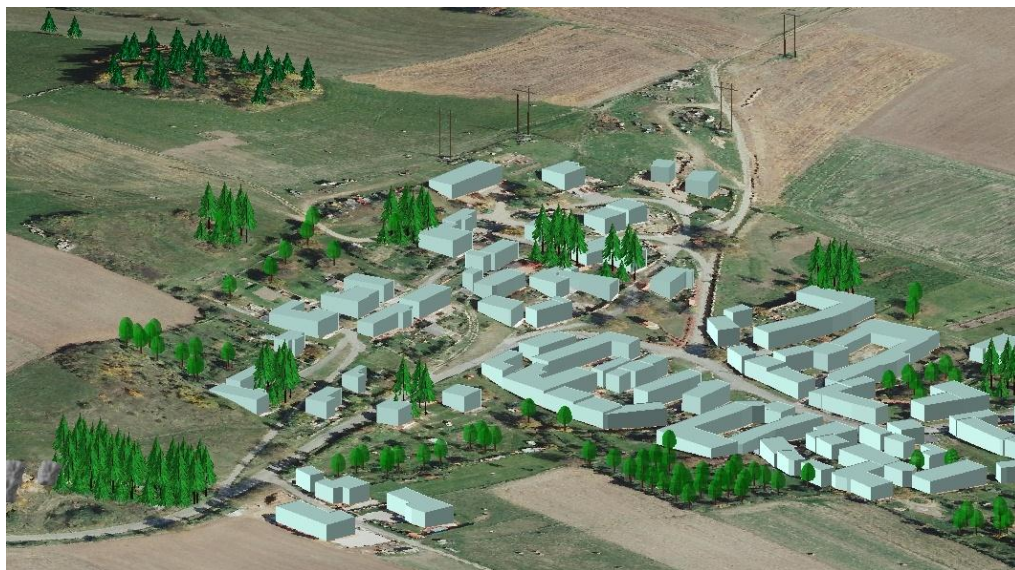
Pro 3D modelování jsou k dispozici aplikace ArcScene a ArcGlobe. Další funkční nástroje využitelné pro modelování tvoří součást Arctoolboxu ve skupině nástrojů 3D Analyst Tools. 3D modelování využitě v této práci můžeme rozdělit do dvou základních skupin. První skupinou je vytvoření 3D modelu budov a druhou skupinou vytvoření 3D modelu terénu. Výslednou vizualizací těchto dvou modelů vznikne reálnější pohled na modelované území.

3D model budov:

Před samotným vytvořením 3D modelu potřebujeme získat vrstvu půdorysu budov. Tyto půdorysy je nutné vytvořit v prostředí ArcMapu např. digitalizací podle ortofotomap. Digitalizovaná vrstva představuje 2D model budov ve formátu shapefile. Při použití vrstvy ve formátu shapefile v prostředí ArcScene již můžeme jednotlivým půdorysům domů přiřadit výšku. Přiřazením výšky již vznikne 3D model budovy. Modelový příklad je na obrázcích. Obrázky obr. 2.6 a obr. 2.7 představují 2D a 3D modelu budov.

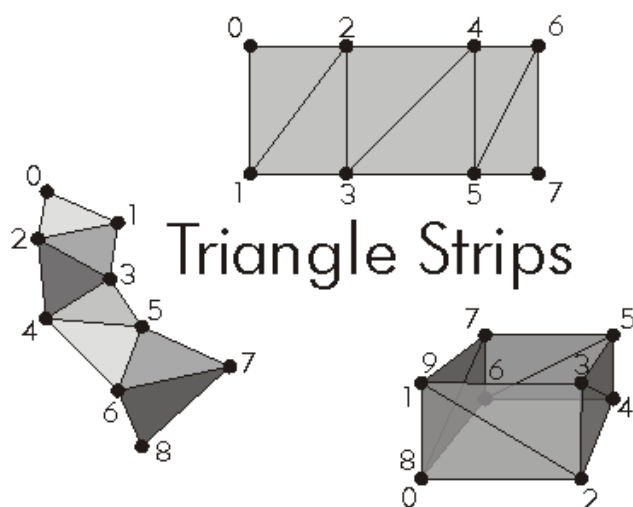


Obr. 2.6: Ukázka 2D modelu obce.



Obr. 2.7: Ukázka 3D modelu obce.

Pro další práci s tímto modelem v prostředí ArcScene je potřeba tuto vrstvu převést do formátu Multipatch. Datový formát Multipatch prezentující hranice 3D objektů vyvinula společnost ESRI. Výsledný objekt v Multipatch se skládá ze sítě trojúhelníků, viz obr. 2.8. Multipatch umožňuje ukládat geometrii hranic 3D objektů v ArcGIS. Dále tento datový formát Multipatch umožňuje uložení textur, barev a průhlednost 3D objektů. Další podstatnou výhodou je náhrada 3D objektů v tomto formátu jiným 3D objektem vytvořeným v jiném softwaru pro 3D modelování. Touto výhodou se zabývá další text.

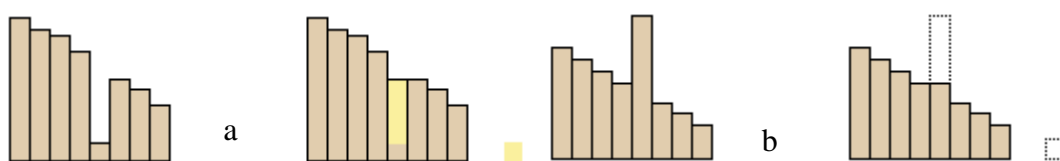


Obr. 2.8: Multipatch formát pro 3D objekty.

3D model terénu

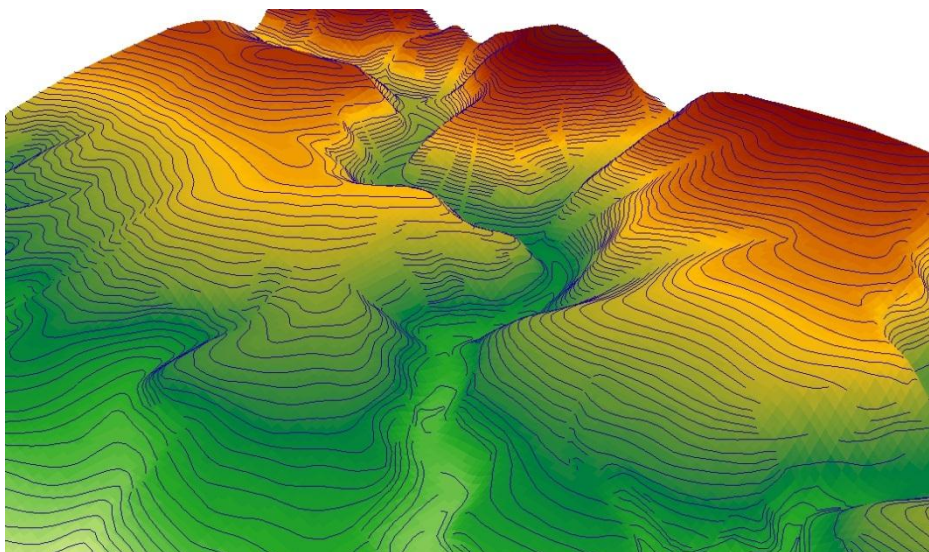
Pro vytvoření 3D digitálního modelu terénu (dále jen 3D DMT) se nachází v prostředí ArcGIS dva vhodné nástroje, které obsahuje ArcToolbox. Prvním z nich je vytvoření modelu pomocí nástroje TopoToRaster. Základem pro vytvoření DMT je vektorový soubor (shape polyline) vrstevnic obsahující linie s přiřazenou informací o nadmořské výšce. Další vstupní vrstvou je vrstva zájmového území (shape polygon), která vymezí hranici DMT. Může se jednat o hranici vymezující povodí, katastrální území nebo o jinou danou hranici. Pro upřesnění DMT můžeme přidat vektorové vrstvy toků nebo vodních ploch. Tyto doplňující údaje najdou opodstatnění spíše při modelování hydrologických poměrů. Pro naše potřeby postačí využít vrstvu vrstevnic a zájmového území.

Výstup tvoří vytvořená rastrová vrstva DMT znázorňující interpolaci povrchu. Tím, že výstupní vrstvou je rastr, musíme před spuštěním výpočtu nastavit potřebnou velikost pixelů rastru. Velikost volíme podle rozsahu zájmového území. Pro menší území (např. katastrální) je nejvhodnější volit velikost pixelu 5. Pro rozsáhlejší území použijeme velikost pixelu větší z důvodu výsledné objemnosti dat. Velikost pixelu 5 odpovídá reálným 5 metrům vzdálenosti. Po vytvoření DMT nástrojem TopoToRaster byl použit další nástroj z ArcToolboxu, a to nástroj Fill. Tento nástroj slouží k odstranění nedokonalostí vzniklého povrchu jako např. vrcholy, padliny, deprese apod. Na obr. 2.9 vidíme jednotlivé profily terénu před a po provedení nástroje Fill.



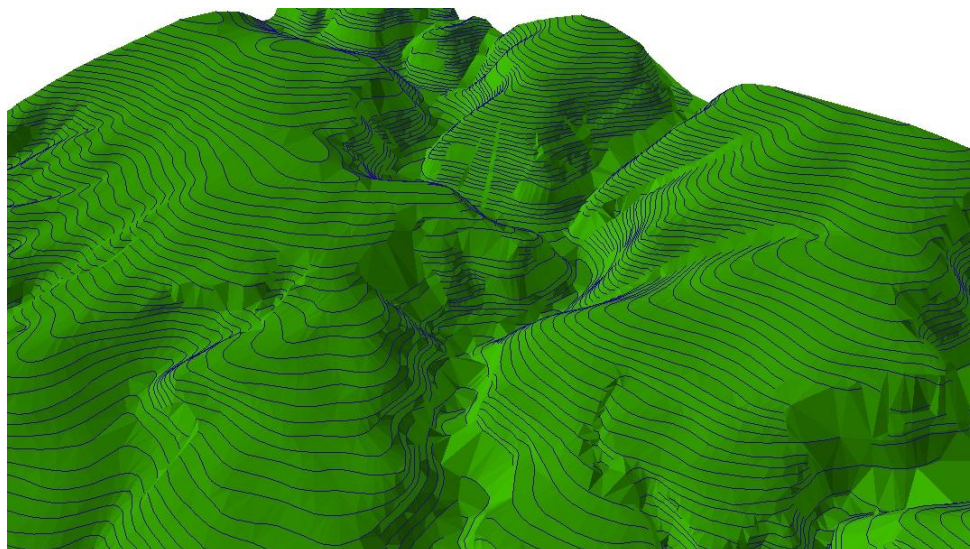
Obr. 2.9: Profil znázorňující pokles (a) a vrchol (b) před a po provedení nástroje Fill

Všechny výše popsané kroky byly provedeny v prostředí ArcMap. Pro vytvoření 3D DMT bylo využito prostředí ArcScene, určené pro práci s 3D daty. Zde se každému pixelu rastrovému DMT přiřadila informace o nadmořské výšce. Ukázka takového 3D DMT je na obrázku obr. 2.10.



Obr. 2.10: Ukázka 3D DMT vytvořeného nástrojem TopoToRaster

Druhou možností vytvoření DMT je využití nástroje Create TIN. Zkratka TIN se skládá z anglického pojmenování irregular triangle network neboli síť nepravidelných trojúhelníků. Jako vstupní vrstvy lze opět využít vrstevnice a hranice zájmového území. Výstupem nástroje Create TIN je trojúhelníková síť mezi hranami vrstevnic. Dalším krokem k vytvoření 3D DMT je přiřazení informace o nadmořské výšce výsledného modelu. Ukázka takového 3D DMT představuje obr. 2.11. Pro modelování terénu zájmových území byl použit nástroj TopoToRaster.



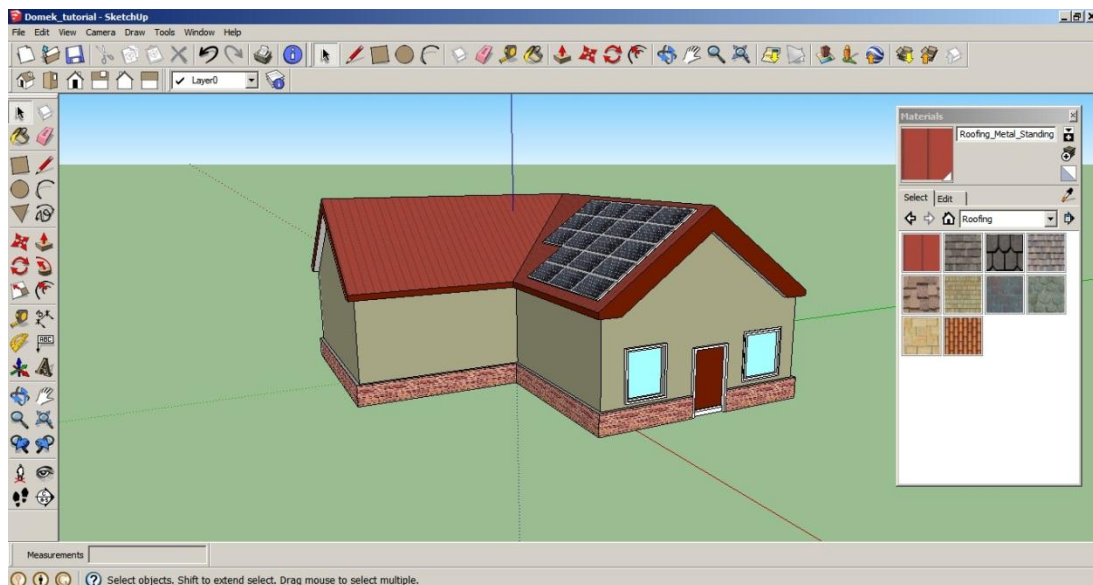
Obr. 2.11: Ukázka 3D DMT TIN.

Pomocí nástrojů GIS lze vytvářet základní 3D modely. Pokud potřebujeme vytvořit složitější 3D model (např. dům se sedlovou střechou a reálnou texturou), je nejvhodnější využít software určený přímo pro 3D modelování. Základní podmínkou pro využití takového softwaru je vzájemná kompatibilita dat, tzn. existující výměnný formát mezi ArcGIS a softwarem pro 3D modelování. Podmínku kompatibility splňuje software SketchUp 8. Výměna 3D dat mezi ArcGIS a tímto produktem se realizuje pomocí výměnného formátu COLLADA (COLLABorative Design Activity). Soubory typu COLLADA mají příponu *.dae. Formát COLLADA je podporován od verze ArcGIS 10. Ve starší verzi ArcGIS 9.3 bylo potřeba k výměně 3D dat využít speciálního modulu, který vytvářel data ve formátu použitelného ve SketchUp 8 (i v nižších verzích). Při využití tohoto modulu ve starší verzi ArcGIS docházelo k častým chybám ve výsledných převedených 3D modelech. Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto o využití vyšší verze ArcGIS a to ve verzi 10.1. Tato verze plně podporuje formát COLLADA.

2.5 Google SketchUp 8

SketchUp 8 je produktem firmy Google. Tento produkt se v základní verzi poskytuje zdarma. Aktuální verzí je právě SketchUp 8. Placená verze se označuje jako SketchUp 8 PRO. V základní verzi jsou k dispozici všechny nástroje, které byly potřeba k vytvoření námi požadovaných 3D modelů. Program je určen přímo pro tvoření a editování 3D modelů. Výsledná vizualizace je také možná v aplikaci Google Earth .

Při prvotním spuštění programu musíme nastavit základní jednotky pro práci. K dispozici máme milimetry, metry, palce, stopy. V našem případě byly nastaveny metry. Na obr. 2.12 lze vidět hlavní okno SketchUp 8 s jednotlivými nástroji pro modelování. Jako další výhodu tohoto softwaru lze brát intuitivní ovládání urychlující pracovní činnost.



Obr. 2.12: Hlavní okno programu SketchUp 8.

SketchUp 8 umožňuje import a export těchto formátů:

Import 2d formátů: *.jpg, *.png, *.tif, *.bmp, *.tga

Import 3D formátů: *.skp, *.kml, *.kmz, *.3ds, *.dwg, *.dxf, *.dem, *.ddf

Export 2D formátů: *.jpg, *.png, *.tif, *.bmp, *.mov, *.avi

(u Pro verze navíc: *.pdf, *.eps, *.epx, *.dwg, *.dxf)

Export 3D formátů (pouze u Pro verze): *.3ds, *.dwg, *.dxf, *.fbx, *.obj, *.xsi, *.vrmf, *.kmz, *. Kml



nástroje: Výběr, Vytvoření komponenty, Obarvení, Mazání



nástroje: Obdelník, Linie, Kruh, Arc, Polygon, Kreslení od ruky



nástroje: Posun, Vytažení/Zatažení, Rotace, Následování, Měřítka, Odstup



nástroje: Rotace v prostoru, Přiblížení, Přiblížení oknem, Předchozí, Další, Přiblížení rozsahu



nástroje: Nový, Otevřít, Uložit, Vyjmout, Kopírovat, Vložit, Kreslení zpět, Kreslení vpřed,

Tisk, Model Info



nástroje: Standartní pohledy



nástroje: Měření, Kóty, Rozměry, Úhloměr, Text, Axes, 3D Text



nástroje: Styly vzhledu

Pomocí Sketchup 8 lze vytvořit již zmíněný 3D model s reálnou texturou zobrazený na obr. 2.13. Reálná textura byla pořízena pomocí Photo textures. Tento nástroj nás nasměruje do webového prostředí Google maps a zde si za pomoci služby Street View můžeme pořídit reálné textury domů. Další výhodou je i využití importování vlastních obrázků a následné použití jako textury.



Obr. 2.13: 3D model s reálnou texturou

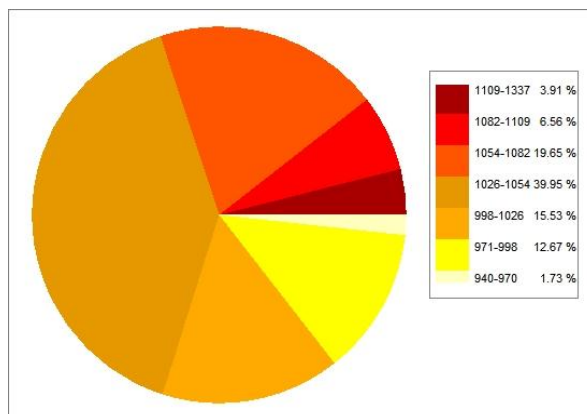
3 VÝBĚR VHODNÉ LOKALITY

Pro výběr nejvhodnější lokality pro umístění FVE byly využity podkladové mapy uvedené v kapitole 1. Dále byla využita vrstva vrstevnic pro vytvoření mapy expozice a svažitosti terénu. Pro zjištění krajinného pokryvu (lesní pozemek, orná půda, zastavěné území apod.) byla využita vrstva CORINE Land Cover. Tato vrstva představuje databázi dat o využití území a jeho změnách. Vrstva je prezentována online pomocí služby WMS². Tuto službu poskytuje česká informační agentura životního prostředí (CENIA).

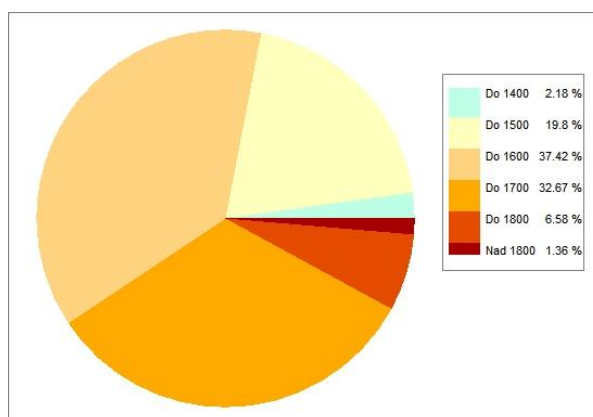
3.1 Analýza vrstev - geografické zobrazení

Mapy uvedené v kapitole 1 na obr. 1.16, obr. 1.17 a obr. 1.19 byly vytvořeny z obrázků, které poskytuje na svých stránkách Český hydrometeorologický ústav. Tyto mapy jsou pouze ve formátu JPEG a neobsahují žádné informace o prostorovém umístění. Proto bylo nutné před analýzou v prostředí ArcInfo mapy nejprve transformovat. Transformace byla provedena pomocí nástroje georeferencování. Jako transformační předloha byla použita vrstva státní hranice ČR. Po transformování byly mapy digitalizovány a prezentovány právě na obrázcích uvedených v kapitole 1. Dále byla provedena analýza získaných vrstev a byly vytvořeny grafy procentuálního vyjádření průměrné intenzity slunečního záření, viz obr. 3.1, průměrné doby trvání slunečního svitu obr. 3.2 a průměrného počtu bezoblačných dní obr. 3.3 na území ČR. Z grafů je patrné, že největší podíl intenzity slunečního záření tvoří kategorie 1026-1054 kWh/m² (39,95 %). U doby trvání slunečního svitu mají nejvýznamnější zastoupení kategorie do 1600 hod/rok (37,42) a 1700 hod/rok (32,67). Z údaje o počtu bezoblačných dní vyplývá, že největší podíl má kategorie 46 – 51 dní (25,08 %). Naopak kategorii bezoblačných dní 66 – 71 zastupuje pouze 0,78 %.

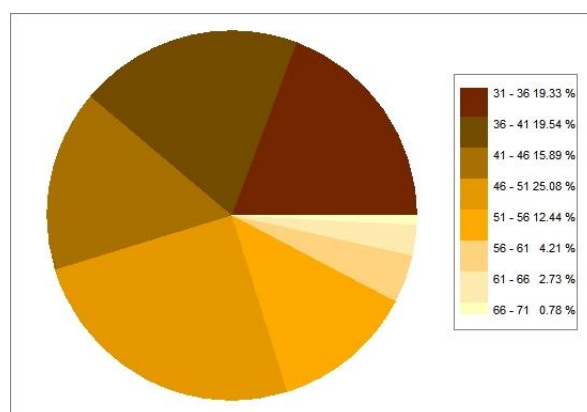
² WMS je webová mapová služba, pomocí které je možné online připojení nabízených vrstev do prostředí ArcGIS jako např. mapa krajinného pokryvu.



Obr. 3.1: Procentuální vyjádření průměrné intenzity slunečního záření na území ČR



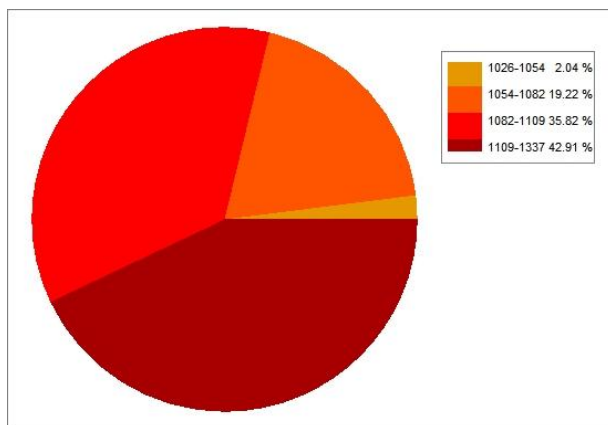
Obr. 3.2: Procentuální vyjádření průměrné doby trvání slunečního svitu na území ČR



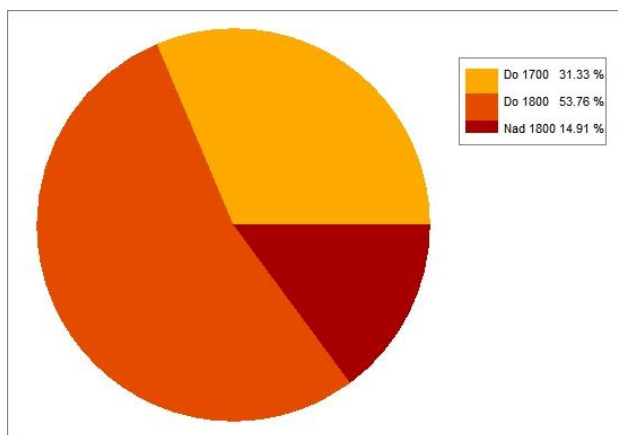
Obr. 3.3: Procentuální vyjádření průměrného počtu bezoblačných dní na území ČR

Z uvedených celorepublikových map můžeme vyvodit závěr, že území JMK má v porovnání s ostatními kraji nejvyšší potenciál ve využití sluneční energie. Proto

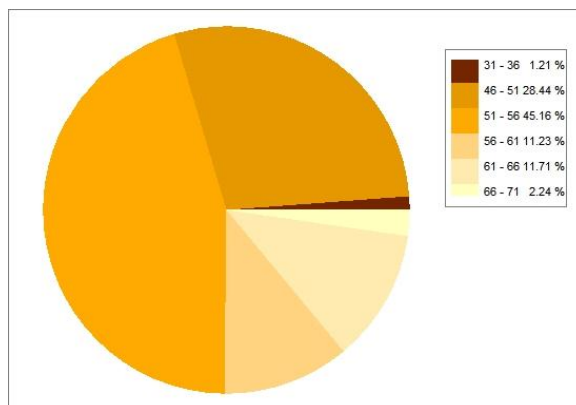
byla provedena analýza také pro JMK. Z grafu průměrné intenzity slunečního záření, viz obr. 3.4, vyplývá zúžení počtu kategorií směrem k vyšším intenzitám ve srovnání s grafem pro celou ČR. Na území JMK má největší zastoupení kategorie s nejvyšší intenzitou na území ČR (42.91 %). Z grafu průměrné doby trvání slunečního svitu, viz obr. 3.5, je opět zřejmé zúžení počtu kategorií směrem k vyšším hodnotám a nárůst hodnoty pro nejvíce zastoupenou kategorii. Nejvíce zastoupenou kategorií je kategorie do 1800 hod/rok, a to 53,76 %. Posledním srovnávaným údajem je průměrný počet bezoblačných dní za rok. Graf s údaji pro JMK uvádí obr. 3.6. I zde lze vidět nárůst hodnot při srovnání s celou ČR. Největší zastoupení na území JMK má kategorie v počtu 51 – 56 dní za rok. Tato kategorie je zastoupena 45,16 %.



Obr. 3.4: Procentuální vyjádření průměrné intenzity slunečního záření na území JMK



Obr. 3.5: Procentuální vyjádření průměrné doby trvání slunečního svitu na území JMK



Obr. 3.6: Procentuální vyjádření průměrného počtu bezoblačných dní na území JMK

3.2 Návrh postupu pro výběr nejvhodnější lokality pro FVE

Tento návrh si dává za cíl výběr nejvhodnějších obcí pro instalování FVE v podmínkách JMK, který má ze všech krajů nejvhodnější podmínky pro využití sluneční energie.

Návrh byl rozdělen do následujících kroků

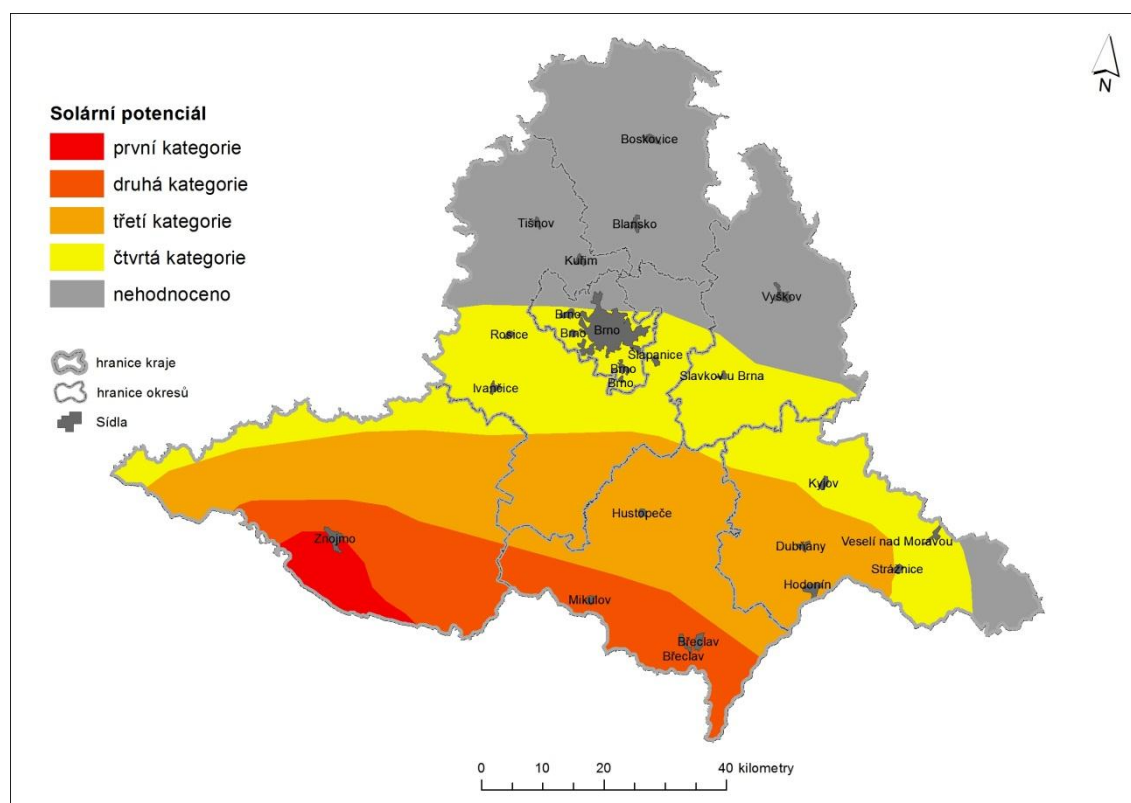
Krok 1

Zde byl na základě rozboru podmínek pro FVE na území ČR vybrán již zmíněný JMK. Z důvodu časové náročnosti získávání údajů o krajinném pokryvu (viz krok 4) bylo rozhodnuto o zaměření se na území JMK s nejvyšší intenzitou slunečního záření, nejdelší dobou trvání slunečního záření a nejvyšším počtem bezoblačných dní. Průnikem výše uvedených parametrů byla vytvořena analytická mapa. Po průniku map byly stanoveny kategorie území rozčleňující území JMK dle využitelnosti sluneční energie.

Výstupem tohoto kroku se stala mapa solárního potenciálu JMK na obr. 3.7. Kategorie byly vytvořeny na základě matice hodnot v tab. 3.1. První kategorii představuje území, ve kterém byly zastoupeny nejvyšší hodnoty z analyzovaných parametrů. Druhá kategorie zastupuje území o nejvyšší intenzitě a nejvyšší dobou slunečního svitu, ale ve srovnání s první kategorií je zastoupena menším počtem bezoblačných dní. Třetí kategorii reprezentuje území s nejvyšší intenzitou slunečního záření a dobou slunečního svitu do 1800 hodin za rok. Poslední čtvrtou kategorií tvoří území s vyšší intenzitou slunečního záření, dobou slunečního svitu do 1800 hodin za rok. Ve srovnání s předchozími kategoriemi má největší rozsah bezoblačných dní.

Tab. 3.1: Matice hodnot pro stanovené solárního potenciálu.

Solární potenciál	Intenzita slunečního záření [kWh/m2]	Doba slunečního svitu [hod/rok]	Počet bezoblačných dní
první kategorie	Nejvyšší (1109 - 1337)	Nad 1800	66 - 71
druhá kategorie	Nejvyšší (1109 - 1337)	Nad 1800	61 – 66; 56 – 61; 51-56
třetí kategorie	Nejvyšší (1109 - 1337)	Do 1800	61 – 66; 56 – 61; 51-56
čtvrtá kategorie	Vyšší (1082-1109)	Do 1800	61 – 66; 56 – 61; 51-56; 46 - 51



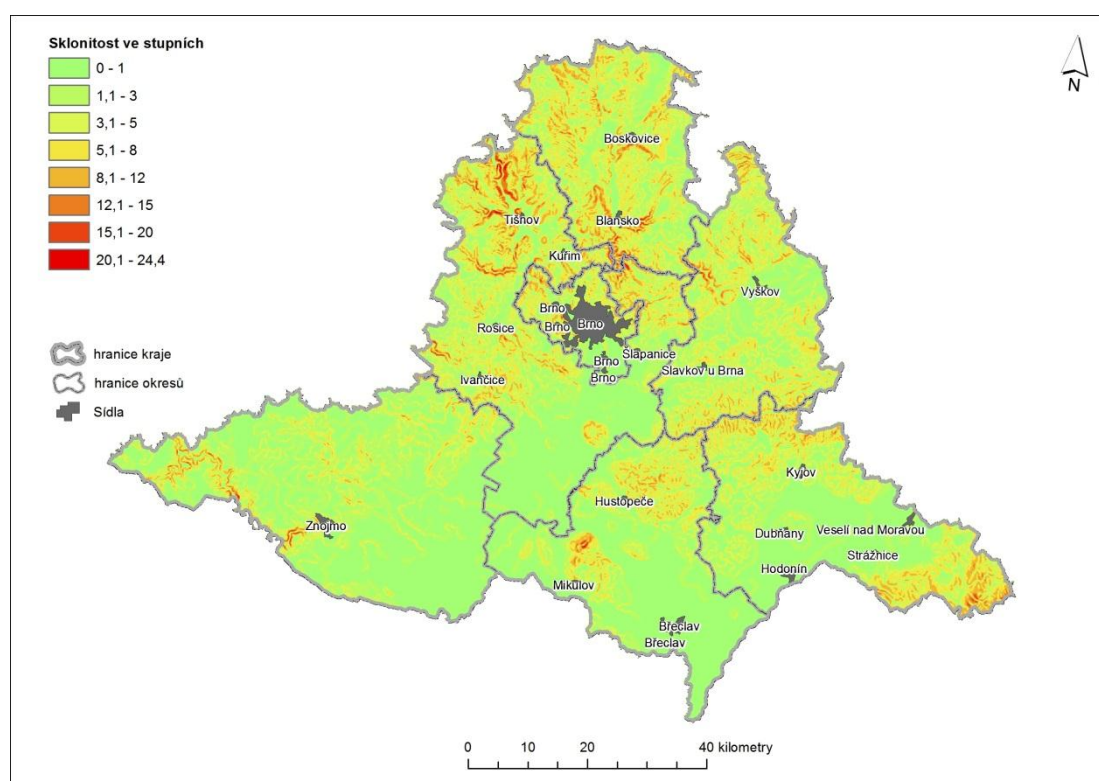
Obr. 3.7: Mapa solárního potenciálu JMK

Krok 2

V tomto kroku byla vytvořena vrstva expozice terénu. Vrstva byla vytvořena pomocí nástroje Aspekt, který je součástí Arctoolboxu. Vstupní vrstvou, pomocí které je vytvořena vrstva expozice, je rastrový DMT. Zde bylo za potřebí vytvoření DMT na zájmovou oblast JMK. Získání vrstevnic pro výpočet DMT na celý JMK nebylo

Krok 3

Dalším krokem bylo vytvoření vrstvy sklonitosti. Vrstva byla vytvořena pomocí nástroje Slope z ArcToolboxu. Vstupní vrstvou byl opět rastrový DMT. Při vytváření této vrstvy můžeme volit vytvoření výstupní vrstvy ve stupních nebo v procentech. V našem případě byla vytvořena vrstva sklonitosti ve stupních. Výsledná mapa je uvedena na obr. 3.9. Při vytváření mapových vrstev pomocí vrstevnic z ArcČR® 500 musíme brát v úvahu, že výsledné podklady jsou spíše orientační a byly vytvořeny za účelem modelového příkladu pro určení nejvhodnější lokality pro instalování FV panelů. Pomocí této vrstvy budou vybrány obce s vyšší sklonitostí.



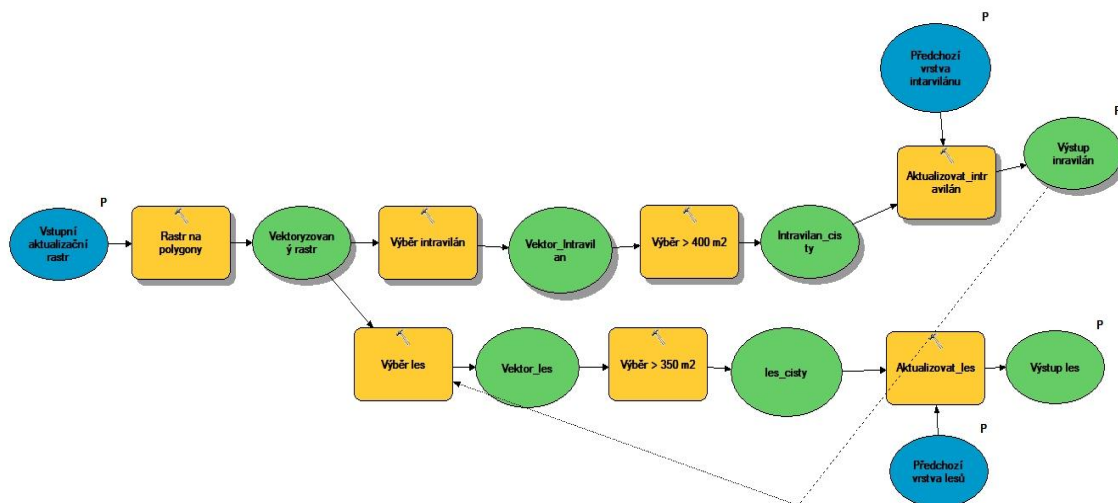
Obr. 3.9: Sklonitost ve stupních JMK

Krok 4

Cílem bylo zjistit plochu zastavěného území obcí a také plochu lesních pozemků. Lesní pozemky bylo potřeba identifikovat pro vyčlenění obcí nacházejících se např. uvnitř lesního porostu. Tyto obce by nebyly vhodné k instalování FV panelů. Pro vytvoření této vrstvy byly k dispozici dvě možnosti. První a časově nejnáročnější možností byla ruční digitalizace z ortofotomap. Ruční digitalizace zastavěných území

a lesních pozemků nebyla vhodná pro svoji časovou náročnost.

Druhou a reálnější možností představovalo využití vrstvy krajinného pokryvu CORINE z WMS. Data byla získána postupným exportem v rozsahu zájmového území. Celkem bylo exportováno 95 rastrových souborů. Pro další práci s těmito daty bylo nutné rastry vektorizovat a vybrat požadované plochy. Pro tento účel byl vytvořen automatický model v Modelbuilderu. Modelbuilder umožňuje sestavit jednotlivé často se opakující kroky do jednoho modelu. Nově vytvořený model dostal název Digitalizace CORINE a je uveden na obr. 3.10. Vstupními daty byly exportované rastry CORINE a předešlé, prvotně vytvořené vektorové vrstvy zastavěného území obce a lesních pozemků. Model postupně převede rastr do vektorové podoby. Vektorová vrstva nese sloupec s kódem barvy, která charakterizuje jednotlivé druhy krajinného pokryvu. Na základě kódu barvy model vybere plochy představující zastavěné území a lesní pozemky. Dalším krokem bylo odstranění menších vektorových polygonů, které vznikly po převedení na vektorovou vrstvu. Pro zastavěné území byly odstraněny plochy menší než 400 m². U lesních pozemků byly odstraněny plochy menší než 350 m². Výstupem celého modelu jsou dvě vektorové vrstvy požadovaných území.



Obr. 3.10: Model Digitalizace CORINE, vytvořený v Modelbuilderu

Po digitalizaci zastavěného území bylo potřeba jednotlivým plochám přiřadit název obce. Přiřazení bylo provedeno průnikem vrstvy zastavěného území s vrstvou katastrálních území s názvy obcí. Vrstva katastrálních území jsme získali z databáze ArcČR[®] 500. Tímto způsobem bylo digitalizováno 404 obcí s celkovou plochou 280,5 km² na území JMK. Celkovou plochu lesních pozemků tvoří 778,84 km².

Závěrečný výběr nejvhodnějších obcí

Při výběru nejvhodnějších lokalit pro vybudování FVE byly analyzovány všechny získané vrstvy. Každé obci byla přiřazena kategorie solárního potenciálu. Poté byly pro každou obec pomocí Zonální statistiky (nástroj z ArcToolboxu) vypočteny průměrné hodnoty sklonitosti vytvořené v kroku 3. Při zpracování vrstvy expozice nebylo možné použít pouze průměrné hodnoty ze Zonální statistiky. Po průměrování bychom ztratili informaci o jednotlivých expozicích. Proto byl vytvořen histogram zastoupení jednotlivých expozic na území zastavěného území. Histogram byl vytvořen pomocí nástroje Zonal Histogram (nástroj z ArcToolboxu). Vstupními daty byla vektorová vrstva zastavěného území a rastrová vrstva expozice. Histogramem byl zjištěn počet pixelů pro jednotlivé expozice zastoupené v obcích. Počty pixelu byly přepočteny na procentuální zastoupení expozic v obcích. Posledním krokem bylo sečtení jednotlivých procentuálních hodnot zastoupení expozic jihu, jihovýchodu, jihozápadu a roviny pro každou obec. Ukázka výsledné tabulky uvádí tab. 3.2. Z tabulky vyplývá, že např. obec Havraníky leží na území, které má ze 66 % jihovýchodní expozici a z 34 % jižní expozici.

Tab. 3.2: Ukázková tabulka analýze expozice terénu pro vybrané obce.

Název obce	Rovina	Sever	Severovýchod	Východ	Jihovýchod	Jih	Jihozápad	Západ	Severozápad	Sever	Suma J, JV, JZ a rovina
Dobšice u Znojma	35	0	1	1	10	8	46	0	0	0	98
Havraníky	0	0	0	0	66	34	0	0	0	0	100
Hnanice	31	0	0	9	9	43	9	0	0	0	91

Jaroslavice	0	16	42	11	11	13	7	0	0	0	31
Konice u Znojma	0	0	0	5	55	18	16	5	0	0	89
Načeratice	0	0	0	50	50	0	0	0	0	0	50
Nový Šaldorf	36	19	16	26	0	0	0	0	3	0	36
Šatov	9	0	27	16	16	29	1	0	0	0	56

Jako nejvhodnější lokality můžeme hodnotit obce, které se nachází v lepší kategorii solárního potenciálu a zároveň převážnou část zastavěného území tvoří expozice jih, jihovýchod a jihozápad. Vrstva svažitosti byla využita pro upřesnění vrstvy expozice. U obcí s vyšší sklonitostí lze předpokládat menší vzájemné zastiňování domů. Z čehož vyplývá zlepšení potenciálu pro využití FVE. V tab. 3.3 znázorňuje 4 vybrané obce s přiřazenými parametry analyzovanými v našem postupu. Celkový seznam ohodnocených obcí je uveden v příloze A na CD.

Tab. 3.3: Tabulka vybraných obcí s analyzovanými parametry.

Název obce	Kategorie intenzita slunečního záření [kWh/m ²]	Kategorie doba slunečního svitu [hod/rok]	Kategorie počet bezoblačných dní	Kategorie solárního pot.	Plocha obce [km ²]	Průměrná sklonitost [°]	Procentuální zastoupení J, JV, JZ a rovina
Havraníky	1109-1337	Nad 1800	66 - 71	1	31,8	2,1	100
Nový Šaldorf	1109-1337	Nad 1800	66 - 71	1	57,3	1,4	36
Šatov	1109-1337	Nad 1800	66 - 71	1	86,5	0,7	56
Chvalovice	1109-1337	Nad 1800	66 - 71	1	44,0	0,6	2

4 3D MODELOVÁNÍ FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ

Kapitola se zabývá výběrem obcí pro 3D modelování a samotným vytvořením 3D modelu obce před a po výstavbě FVE a modelováním FV panelů na střechách domů.

4.1 Výběr obcí pro 3D modelování

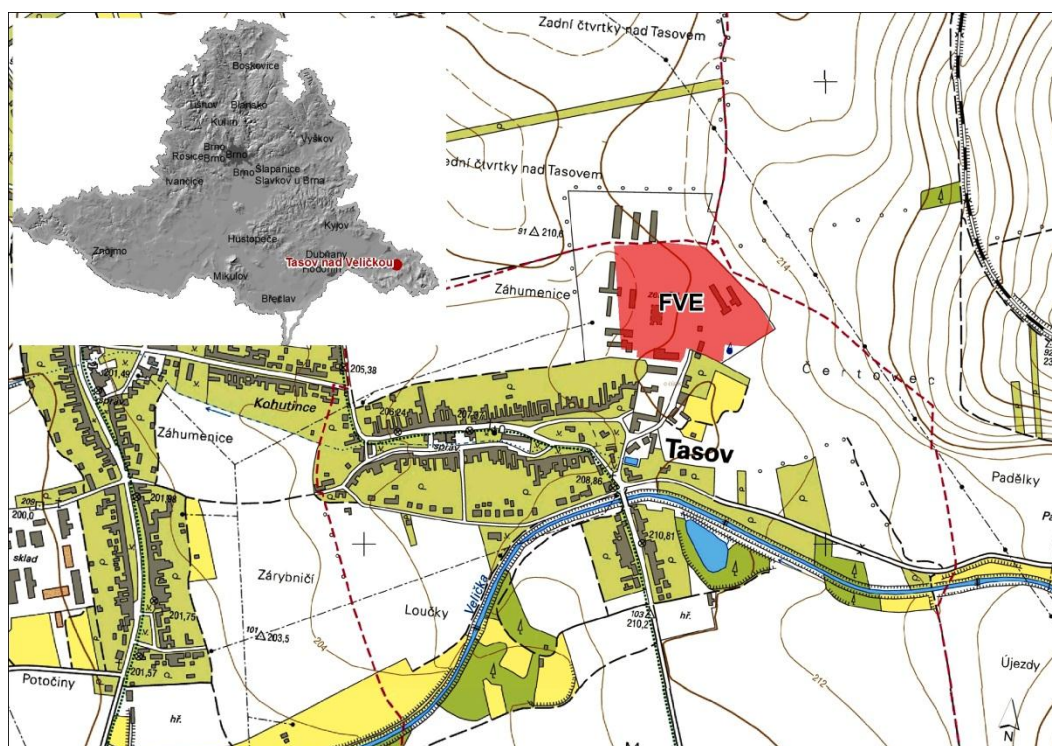
Samotnému výběru obcí předcházela detailní průzkum realizovaných FVE elektráren vystavěných v nejbližší blízkosti obytné zástavby. K výběru byly využívány ortofotomapy na webu www.mapy.cz a ortofotomapy na webu ministerstva zemědělství dále jen MZE, které slouží jako podkladová mapa k jejich webové službě. Výhodou ortofotomap na webu MZE je jejich aktuálnost (2012). Naopak na webu www.mapy.cz jsou k dispozici ortofotomapy k roků 2003, 2006 a 2009. Srovnáním ortofotomap byly získány ortofotomapy území s realizovanou FVE před a po výstavbě. Cílem tohoto průzkumu bylo nalezení vhodných lokalit pro vytvoření 3D modelu obce před výstavbou FVE a po výstavbě FVE. Z důvodu náročnosti vytvoření 3D modelu obce byl výběr směřován na menší obce, které by bylo možné v rozumném časovém horizontu realizovat.

Jako nejvhodnější obec pro vytvoření 3D modelu byla vybrána obec Tasov (okres Hodonín). V průběhu řešení diplomové práce bylo rozhodnuto o výběru další lokality, která by svým umístěním byla rozdílná ve srovnání s předchozí lokalitou. Další vybranou lokalitou byla obec Ráječko (okres Blansko). Okolí obce Tasov je rovinného charakteru, naopak obec Ráječko leží na území s vyšším sklonem. Obě lokality budou přiblíženy v následujícím textu.

Obec Tasov nad Veličkou

Obec Tasov nad Veličkou na Hodonínsku (viz obr. 4.1) se nachází ve čtvrté kategorii solárního potenciálu. Průměrná svažitost zastavěného území obce dosahuje 0,8 stupňů

s převážně jižní expozicí. Tyto údaje vypovídají o tom, že obce se nachází na rovinatém území. V obci se nachází FVE o celkovém instalovaném výkonu 3 385 kWp. Provoz FVE byl zahájen 22.12.2010. FVE se nachází v těsné blízkosti obce. FVE byla vystavěna na místě bývalého zemědělského družstva. Na obr. 4.2 je vidět lokalita před a po výstavbě FVE. FVE je vybudována na ploše 33 332 m². Při stavbě elektrárny bylo použito 14 400 kusů solárních panelů. V příloze B.1 a B.2 jsou umístěny rozborové mapy expozice a svažitosti terénu.



Obr. 4.1: Lokalizace obce Tasov nad Veličkou



Obr. 4.2: Obec Tasov nad Veličkou před a po výstavbě FVE

Na následujících snímcích jsou reálné snímky FVE pořízené při výjezdu na tuto zájmovou lokalitu. Na obr. 4.3 je celkový pohled na realizovanou FVE a na obr. 4.4 je detailní snímek FVE.



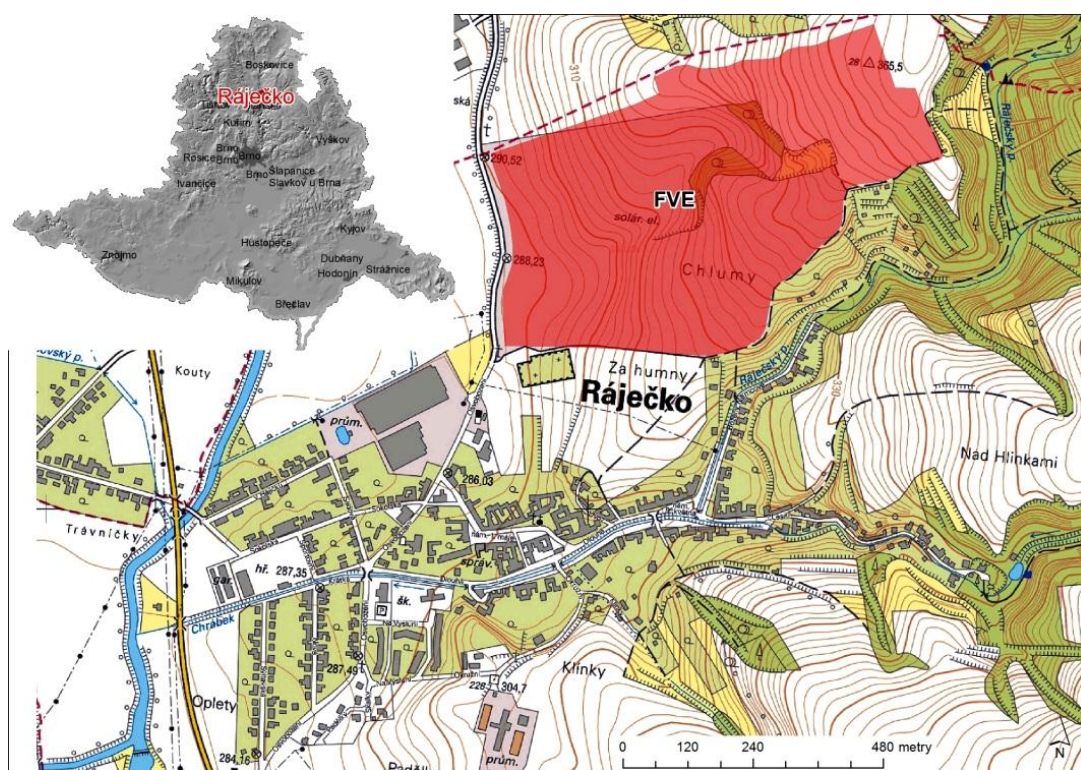
Obr. 4.3: Celkový pohled na FVE u obce Tasov nad Veličkou



Obr. 4.4: Detailní pohled na FVE u obce Tasov nad Veličkou

Obec Ráječko

Další obcí, pro kterou byl vytvořen 3D model, byla obec Ráječko na Blanensku, viz obr. 4.5. Průměrný sklon zastavěného území bez FVE činí 2,1 stupňů. U obce byla započata stavba FVE, která po svém dokončení měla mít celkový instalovaný výkon 15 MW. Průměrný sklon místa výstavby FVE dosahuje 6,5 stupňů. Stavba FVE však nebyla dokončena. FVE měla být vybudována na severním okraji obce s místním názvem Chlomy. Jedním z důvodů ukončení stavby byl pozdní termín dokončení stavby k datu, ke kterému bylo možné využít výhodnějších podmínek pro výkup energie. Tato lokalita byla vybrána z důvodu srovnání s vybudovanou FVE v obci Tasov. Na rozdíl od obce Tasov byla FVE v Ráječku vybudována na orné půdě s velkou svažitostí. Po svém dokončení by se FVE stala velkou dominantou severní části obce. Plocha vyhrazená pro FVE je momentálně nevyužitá. Na obr. 4.6 a obr. 4.7 je lokalita před a po částečné realizaci. V příloze C.3 a C.4 jsou umístěny rozborové mapy expozice a svažitosti terénu. Lokalita spadá do čtvrté kategorie solárního potenciálu.



Obr. 4.5: Lokalizace obce Ráječko



Obr. 4.6: Obce Rájčko před výstavbou FVE



Obr. 4.7: Obce Rájčko po částečné realizaci FVE

Při výjezdu na zájmovou lokalitu Rájčko byly pořízeny následující Snímky.

Na obr. 4.8 je vidět celkový pohled na plochu, kde měla být realizována FVE. Obr. 4.9 znázorňuje detail na plochu místa FVE.



Obr. 4.8: Celkový pohled na místo určené pro FVE u Obce Ráječko

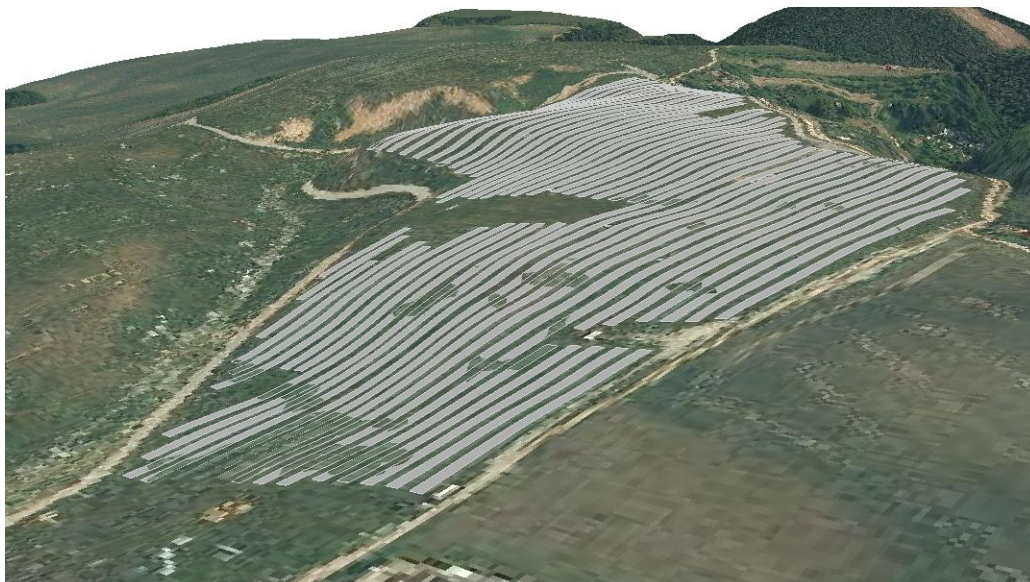


Obr. 4.9: Detailní pohled na místo určené pro FVE u Obce Ráječko

4.2 Samotné 3D modelování vybraných obcí

Zde musíme uvést, že vytvořené 3D modely obcí nejsou přesnými kopiemi reálných obcí. Pokud by bylo vyžadováno takto přesné modelování, bylo by potřeba mít k dispozici zaměření geodetické zaměření domů či přesnou stavební dokumentaci domů. V případě 3D modelování celé obce byla tato možnost vyhodnocena jako nereálná. Další možností vytvoření přesných 3D modelů zástavby by bylo využití leteckého laser scanningu. Tímto způsobem by byly získány pro naše účely nejpřesnější data, která jsou poskytována i ve formátu Multipatch. V případě leteckého laser scanningu se jedná o finančně velice náročnou činnost, a proto bylo i od této metody upuštěno. Bylo přistoupeno k ručnímu 3D modelování.

Pro zvolené zájmové obce byl nejdříve vytvořen 3D digitální model terénu. Jako podklad pro vytvoření 3D DMT byly použity vrstevnice, které zdarma poskytl Český zeměměřický a katastrální úřad. Poté byly digitalizovány dle ortofotomapy jednotlivé 2D plochy domů a FVE. Tyto plochy byly v prostředí ArcScene nejdříve převedeny do formátu Multipatch a výškově přizpůsobeny 3D DMT, viz obr. 4.10. V tomto kroku byly připraveny všechny potřebné podklady pro vytváření reálného 3D modelu obce a FVE.

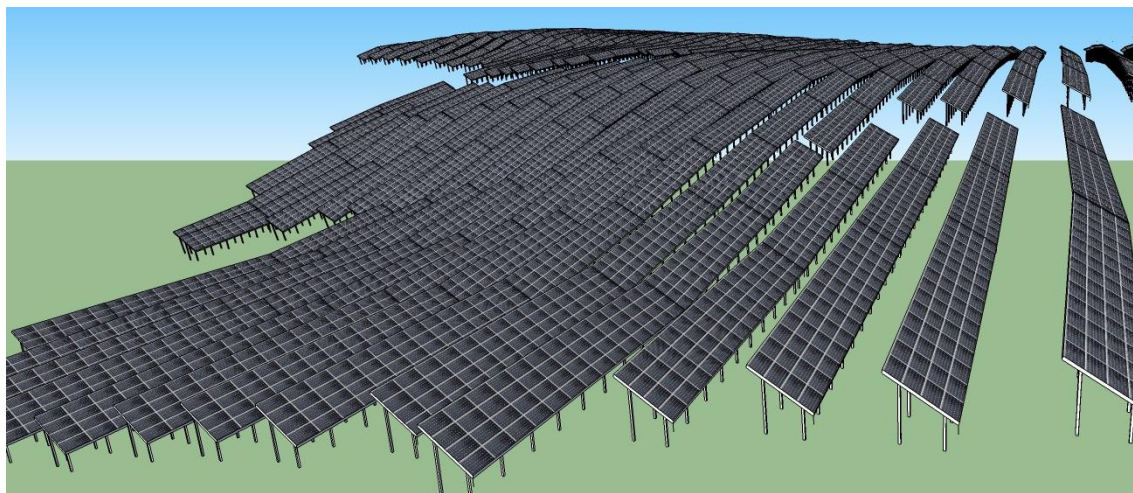


Obr. 4.10: Výškově přizpůsobené digitalizované 2D plochy FVE panelů
(lokalita Ráječko)

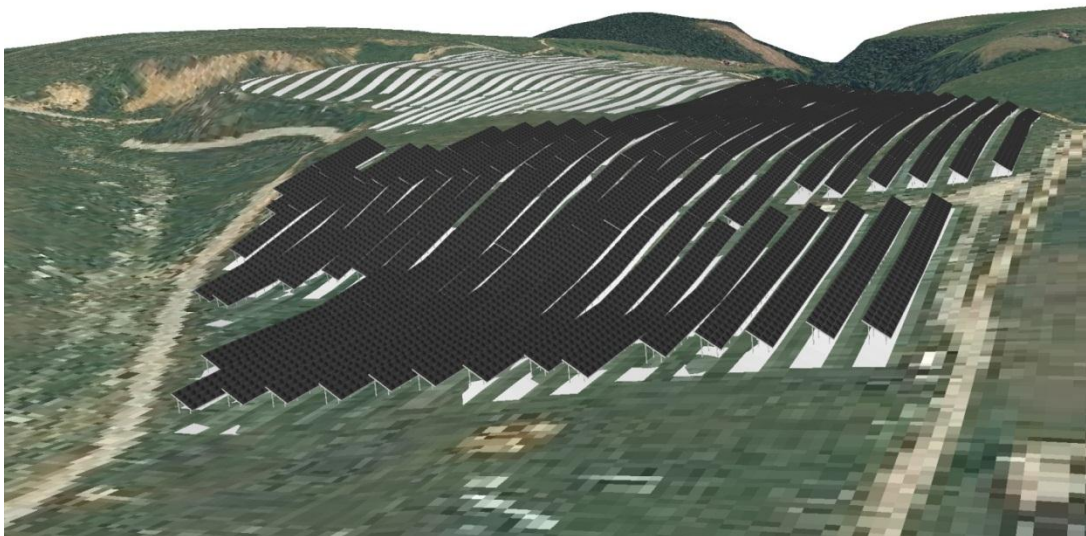
Časově nejnáročnější činností celé práce bylo vytvoření reálných 3D modelů domů a FVE. Toto modelování bylo provedeno v prostředí Sketchup 8.

Při vytváření 3D modelů bylo využito fotodokumentace z výjezdu na zájmové lokality, ortofotomap a dále bylo využito aplikace Google StreetView. Pomocí aplikace StreetView byly získávány výškové informace o jednotlivých budovách. V místech, kde nebyl k dispozici pohled na budovy z aplikace StreetView, byla výška domů odhadnuta, popř. doplněna podle údajů získaných z terénního průzkumu dané lokality. Po vytvoření 3D modelů v prostředí Sketchup byla vytvořena vrstva, která neodpovídala výškovému umístění modelů v terénu. Proto bylo nutné tyto modely výškově upravit podle 3D DMT. K tomuto účelu byla využita vrstva 2D ploch domů a FVE. Těmto plochám bylo v aplikaci ArcScene nastaveno přizpůsobení 3D DMT terénu. Poté byla tato vrstva importována ve výměnném formátu COLLADA do prostředí Sketchup 8. Tímto krokem byla získána referenční výšková vrstva, podle které byly jednotlivé 3D modely domů a FVE (obr. 4.11) výškově upraveny tak, aby jejich výška odpovídala výšce v prostředí ArcScene.

Po výškové úpravě již následoval import 3D modelu obce do prostředí ArcScene. V tomto prostředí byla nahrazena vrstva 2D modelu nově vytvořeným 3D reálným modelem, viz obr. 4.12 a obr. 4.13.



Obr. 4.11: Ukázka 3D modelu FVE v prostředí Sketchup 8



Obr. 4.12: Importovaný 3D model FVE panelů do prostředí ArcScene (lokalita Ráječko)



Obr. 4.13: Importovaný 3D model domů do prostředí ArcScene (lokalita Tasov nad Veličkou)

Pro obec Tasov nad Veličkou bylo vytvořeno 184 3D modelů domů a jeden 3D model FVE na ploše 33 332 m². V obci Ráječko byla vymodelována pouze část obce z důvodů časové náročnosti modelování. I tak to bylo vymodelováno

vymodelováno 189 3D modelů domů. Nejnáročnější částí 3D modelování v obci Ráječko bylo vytvoření 3D modelu FVE na celkové ploše 313 204 m². Tato FVE byla rozdělena do tří samostatných částí tak jak to bylo naplánováno před samotnou realizací. Modelování nejvíce ztížil členitý terén a také rozloha FVE. FVE se podařilo realizovat kompletní.

4.3 Vyhodnocení nejvhodnějších budov pro instalaci fotovoltaických panelů

Vyhodnocení bylo provedeno pro dvě zájmové obce Tasov nad Veličkou a Ráječko.

Tasov nad Veličkou

Jako nejvhodnější budovy pro instalaci FV panelů byly voleny rovné a sedlové střechy s jižní, jihovýchodní a jihozápadní expozicí. Při vytváření 3D modelů domů obce nebyly uvažovány komíny či střešní okna. Tyto detaily by ve výsledku ještě snížili plochu možných instalovaných panelů v celé obci. Z celkových 184 objektů byly FV panely instalovány na 159 objektů. Z toho bylo 147 objektů se sedlovou střechou a 12 s plochou střechou. Panely byly navrženy vždy tak, aby byla využita co největší plocha střechy. Po vymodelování FV panelů na střechy domů činila celková plocha instalovaných FV panelů 3250,4 m².

Ráječko

Opět byly jako nejvhodnější budovy pro instalaci FV panelů voleny rovné a sedlové střechy s jižní, jihovýchodní a jihozápadní expozicí. Část obce se nachází ve svažitém terénu. Proto bylo nutné brát v úvahu i tento terén, který některé domy s vhodnou expozicí zastiňuje. FV panely byly instalovány na 101 objektů z celkového počtu 189. Z toho bylo 97 objektů se sedlovou střechou a 4 objekty s plochou střechou. Největší plocha FV panelů byla vymodelována na plochou střechu průmyslového areálu, který se nachází v těsné blízkosti obce. Plocha panelů činila 5124,51 m². Celková plocha instalovaných FV panelů 12 655 m².

4.4 Vizualizace fotovoltaických panelů na střechách domů a ve volném prostoru

Celková vizualizace všech vytvořených 3D modelů byla vytvořena v prostředí ArcScene a prezentována v následující části kapitoly.

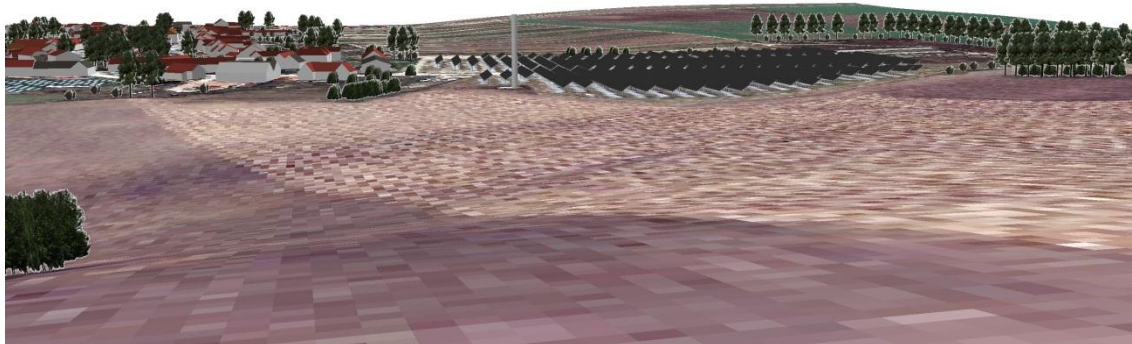
Lokalita Tasov nad Veličkou

Z celkového pohledu vyplývá, že území i nejbližší okolí obce má rovinný charakter. FVE svým umístěním tímto nijak nevyčnívá z terénu. Na je celkový pohled na modelované území s realizovanou FVE.



Obr. 4.14: Celkový pohled na lokalitu Tasov nad Veličkou s realizovanou FVE

Na obr. 4.15 je znázorněna část obce a vybudovaná FVE z pohledu východního svahu. Fotografie z obr. 4.16 je pořízena ze stejného místa jako předešlý 3D pohled.



Obr. 4.15: 3D model -pohled na FVE ze svahu na východ od obce



Obr. 4.16: Fotografie -pohled na FVE ze svahu na východ od obce

Na následujících obrázcích byly je ve větším detailu zobrazena obec s realizovanou FVE (obr. 4.17), bez realizované FVE (obr. 4.18) a s instalovanými FV panely na střechách domů a realizovanou FVE (obr. 4.19). Další Vizualizace obsahuje příloha C.



Obr. 4.17: Bližší pohled na obec s realizovanou FVE



Obr. 4.18: Bližší pohled na obec bez realizované FVE



Obr. 4.19: Bližší pohled na obec s instalovanými FV panely na střechách domů a realizovanou FVE

Lokalita Ráječko

Tato lokalita se nachází v území s větší svažitostí než předchozí lokalita. Tento rozdíl je patrný již z celkových pohledů. Celkový pohled na obec Ráječko je na obr. 4.20.



Obr. 4.20: Celkový pohled na zájmovou lokalitu Ráječko

Na následujících obrázcích je detailní pohled na místo nerealizované FVE (obr. 4.21). Na obr. 4.22 je stejné místo s vymodelovanou FVE. Fotografie na obr. 4.23 ukazuje modelované místo v reálném pohledu pořízeném při výjezdu na lokalitu.



Obr. 4.21: Detailní pohled na místo nedokončené FVE

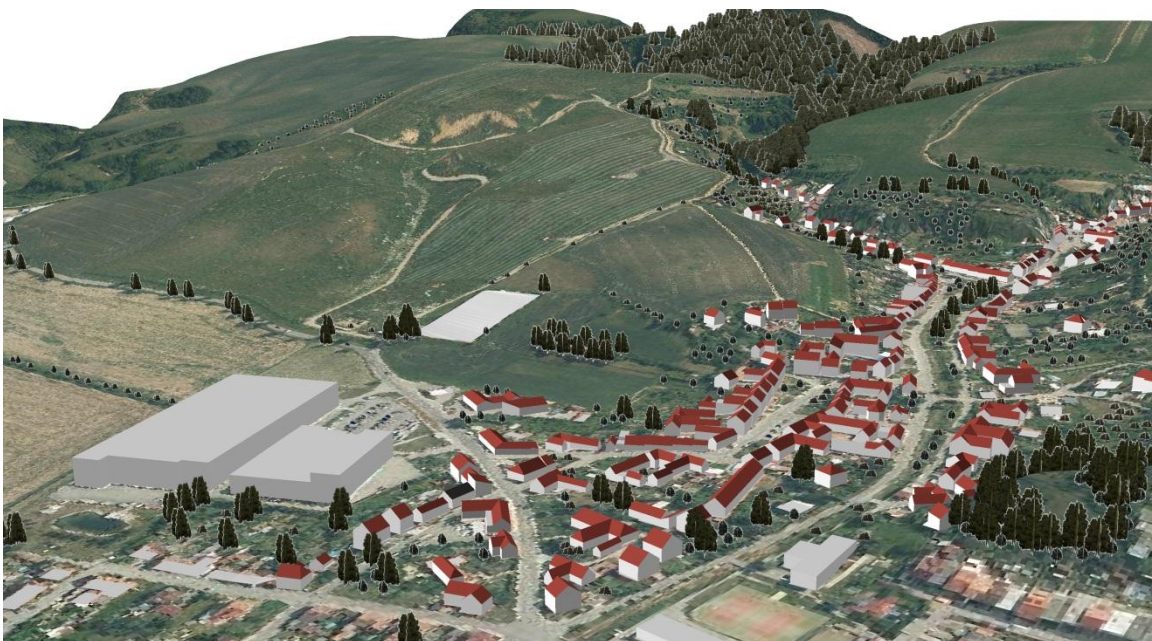


Obr. 4.22: Detailní pohled vymodelovanou FVE

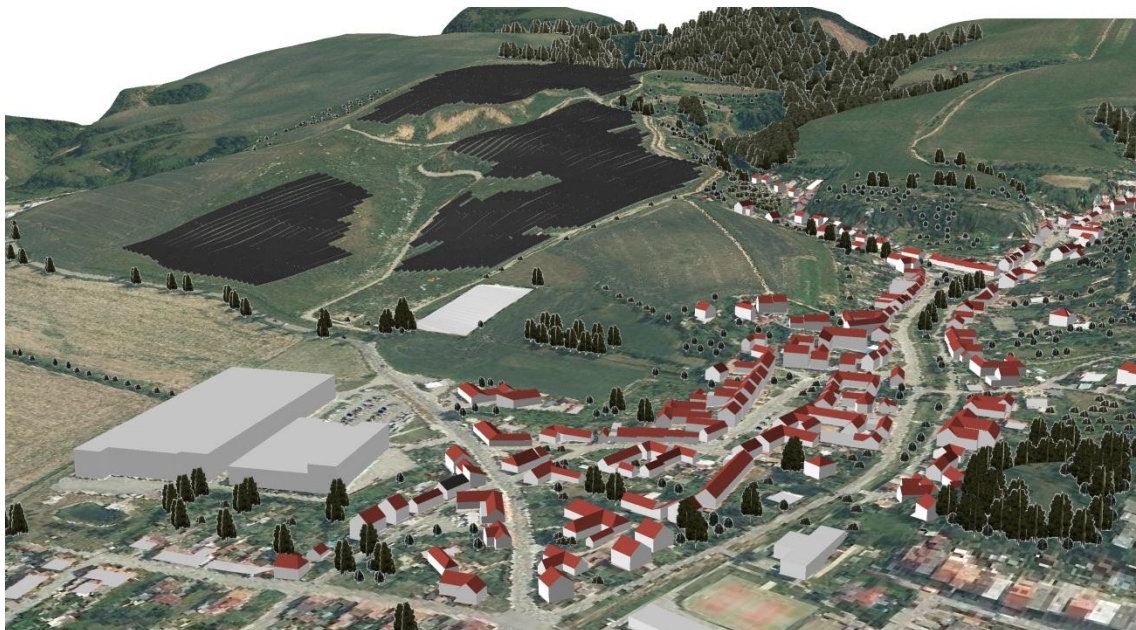


Obr. 4.23: Fotografie místa nedokončené FVE

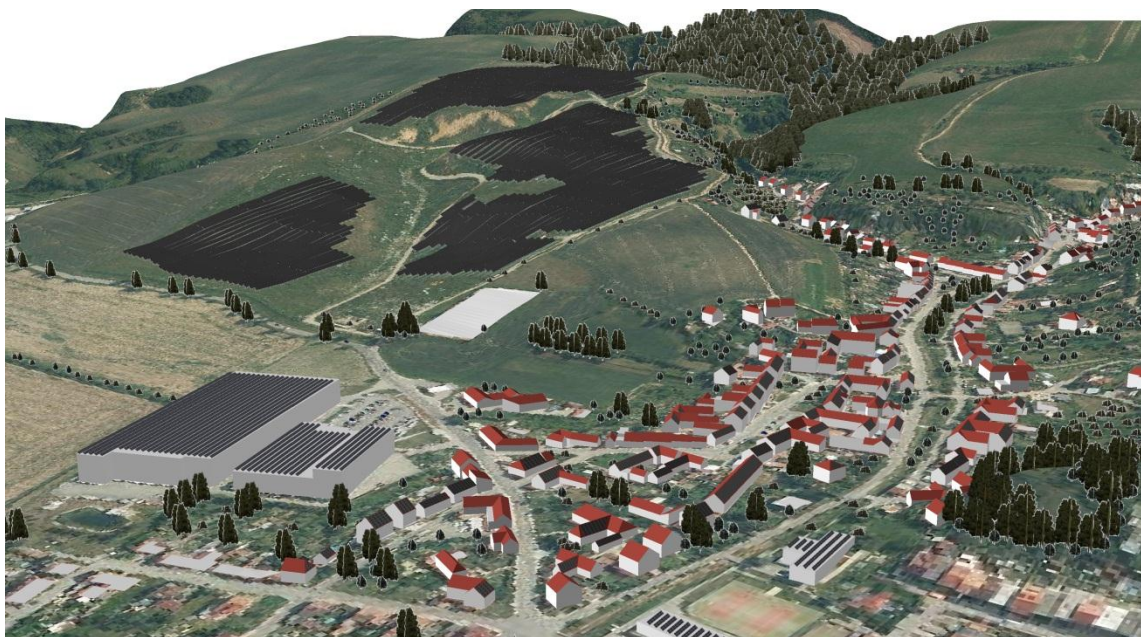
Na obr. 4.24 je vidět zájmová obec Ráječko bez realizované FVE. Obec Ráječko s vymodelovanou FVE je obr. 4.25 a obr. 4.26 ukazuje obec s realizovanou FVE a instalovanými FV panely na střechách domů.



Obr. 4.24: Detailnější pohled na zájmovou lokalitu Ráječko bez FVE



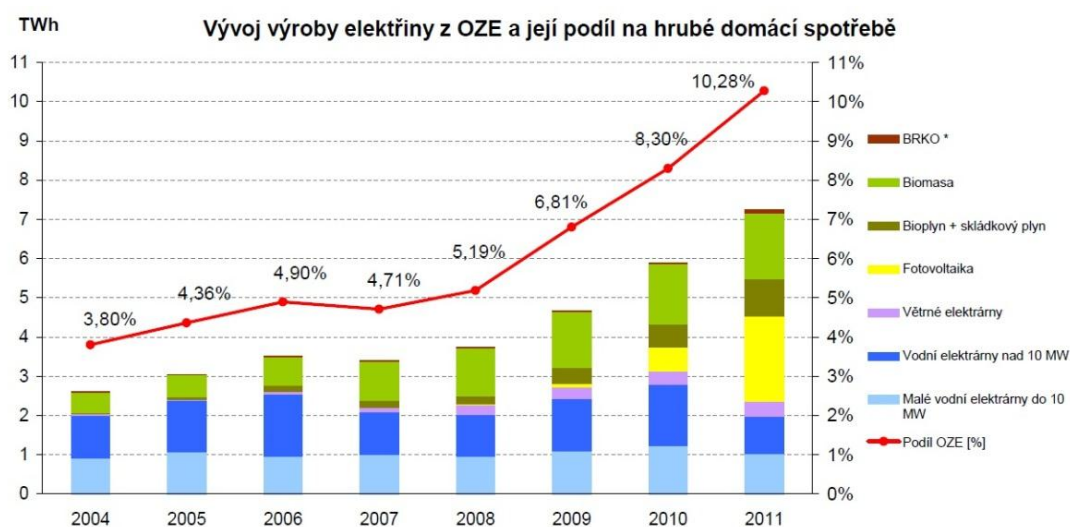
Obr. 4.25: Detailnější pohled na zájmovou lokalitu Ráječko s FVE



Obr. 4.26: Detailnější pohled na zájmovou lokalitu Ráječko s FVE a FV panely
na střechách domů

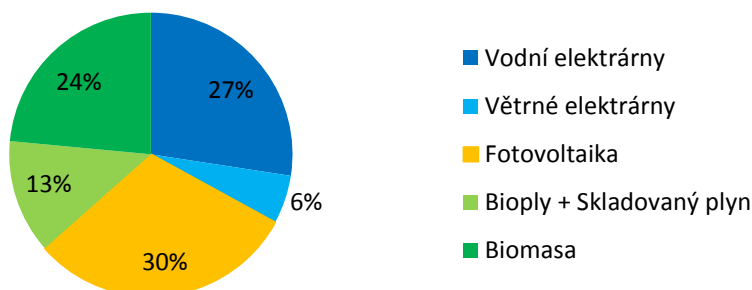
5 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ FVE

Tato kapitola má za cíl ekonomické zhodnocení FVE v ČR. Obr. 5.1 představuje vývoj výroby elektřiny z OZE a její podíl na hrubé domácí spotřebě. Z obrázku je patrná narůstající tendence OZE. Toto je dáno nařízením Evropské rady z roku 2007. Tento dokument uvádí, že do roku 2020 by měl být podíl OZE na hrubé domácí spotřebě dvaceti procentní. Největší nárůst byl zaznamenán u FVE.



Obr. 5.1: Vývoj výroby elektřiny z OZE a její podíl na hrubé domácí spotřebě (převzato z [21]).

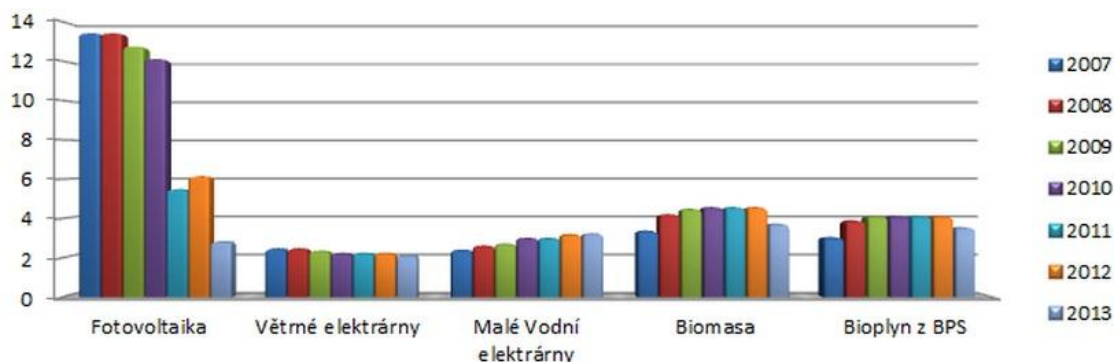
Největší podíl ve výrobě elektrické energie z OZE má k 31.12.2012 fotovoltaika (viz obr. 5.2). Podíl fotovoltaiky je 30 procent. Dalšími významnými OZE jsou větrné elektrárny s 27 % podílem a bioplynové stanice s 24 podílem.



Obr. 5.2: Procentuální zastoupení jednotlivých OZE na výrobě elektrické energie z OZE v ČR k roku 2011 [21]

Fotovoltaika zaznamenala největší nárůst v roce 2010 a především v roce 2011. To bylo zapříčiněno především nabízenou výkupní cenou (viz obr.5.3), která byla v porovnání s jinými OZE nejvyšší. V období od roku 2008 do roku 2010 se výkupní ceny z FVE pohybovaly v rozmezí 12 až 14 Kč/kWh. Ve stejném období se výkupní ceny u ostatních OZE pohybovaly v rozmezí 2 až 4,50 Kč/kWh. Dalším faktorem rozvoje FVE byly mimo výkupní ceny za vyrobenou elektrickou energii i klesající ceny FV panelů, a s tím spojené celkové náklady na výstavbu FVE elektrárny. Náklady na vybudování FVE tvořily přibližně 80 % celkových nákladů [4].

Dle aktuální české normy jsou podporovány fotovoltaické systémy do 30 kWp instalovaných na střechách budov. Výkon 30 kWp zhruba odpovídá střeše o rozměrech 190 m².



Obr.5.3: Srovnání výkupních cen elektrické energie z obnovitelných zdrojů ČR v Kč/kWh (převzato z [22])

Zhodnocení zájmových lokalit

V tomto kroku bylo vytvořeno jednoduché ekonomické zhodnocení náročnosti výstavby instalovaných FV panelů na střechy domů v zájmových lokalitách. Pro každou zájmovou lokalitu byla vypočtena plocha instalovaných FV panelů. V obci Tasov nad Veličkou tato plocha činila 3250 m² a v obci Ráječko 12 655 m². Za pomoci webových kalkulaček jednotlivých subjektů nabízející stavbu FVE byla stanovena průměrná cena za instalaci jednoho FV panelu o rozměru 2m² na 9700 Kč. Průměrný dodávaný výkon z panelu o rozměrech 2m² byl 0,25 kWp.

Pro obec Tasov nad Veličkou byla jednoduchým vynásobením těchto parametrů

vypočtena cena instalací FV panelů na střechách domů na 15 762 500 Kč. Instalovaný výkon by dosahoval 406,5 kWp. FVE v této obci má celkový instalovaný výkon 3 385 kWp. Při porovnání obou výkonů je zřejmé, že instalované FV panely nedosahují výkonu FVE.

Pro obec Ráječko by cena instalovaných FV panelů činila 61 376 750 Kč s celkovým výkonem 1 582 kWp. V případě Ráječka je celkový instalovaný výkon na střechy domů větší ve srovnání s obcí Tasov nad Veličkou. Hlavním rozdílem je velký průmyslový areál, na který byly navrženy FV panely s celkovou plochou 5124,5 m² (640,6 kWp).

6 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

Hlavním cílem diplomové práce bylo vyhodnocení využití solární energie s ohledem na nejvhodnější lokalitu v ČR a vytvoření 3D modelu vybrané zájmové obce před a po výstavbě FVE. Dalším cílem bylo vytvoření 3D modelu obce s instalovanými FV panely na střechách domů.

První část práce byla věnována teoretickému základu k problematice slunečního záření. Zde byly popsány dva základní druhy využití sluneční energie, a to nepřímé a přímé. Větší část kapitoly byla věnována přímému využití sluneční energie solárním fotovoltaickým systémem. Byl zde popsán fotoelektrický jev, na jehož podstatě je založena přeměna sluneční energie na energii elektrickou. Rozebrány byly druhy solárních panelů a typy jednotlivých instalací. Část kapitoly byla věnována umístění FV na budovy. Nejdůležitější část kapitoly pak byla věnována podmínkám pro umístění FV panelů na území ČR. Zde byly využity údaje ČHMÚ týkající se slunečního záření na území ČR, a to průměrná intenzita slunečního záření, průměrná doba slunečního svitu za rok a průměrné počty bezoblačných dní za rok. Dalším uvedeným údajem byla data od společnosti GeoModel Solar o průměrné roční intenzitě slunečního záření na území ČR. Získané údaje byly využity pro výběr území s nejvhodnějšími předpoklady k výstavbě FVE na území ČR. Na základě těchto podkladů byla jako nejvhodnější území v ČR vyhodnocena oblast JMK.

Další kapitola se věnovala geografickému informačnímu systému. Kapitola byla především zaměřena na vybraný geografický informační systém ArcGIS od společnosti ESRI, a to v licenci ArcInfo. Možnost využití této licence byla dána také nynějším zaměstnavatelem autora. Součástí kapitoly tvořila ukázka 3D modelování v ArcGIS. Modelování ve 3D reprezentoval 3D digitální model terénu a vizualizace 3D domů a okolní krajiny. Modelování ve 3D bylo v diplomové práci rozšířeno o 3D modelování v programu SketchUP, ve kterém byly vytvořeny reálné modely domů a FVE ve vybraných lokalitách.

Výběrem vhodných lokalit se zabývala třetí kapitola. Zde byl uveden návrh postupu pro výběr nejvhodnějších lokalit v podmínkách JMK. Výběr lokalit byl proveden analýzou získaných údajů z kapitoly věnované podmínkám umístění FV

panelů na území ČR. Z těchto údajů byla vytvořena nová vrstva solárního potenciálu. Dalšími údaji byly expozice terénu, sklonitosti terénu a krajinný pokryv. Pro vytvoření vrstev expozice a sklonitosti byla využita vrstva vrstevnic z databáze ArcČR® 500. Celkem bylo hodnoceno 404 obcí.

Čtvrtá kapitola se zabývala výběrem vhodných lokalit pro vytvoření reálného 3D modelu. Výběr si dával za cíl najít lokalitu FVE v těsné blízkosti obce. Bylo cíleno spíše na menší obce s reálnou možností vymodelování. První vybranou lokalitou byla obec Tasov nad Veličkou s FVE o celkovém instalovaném výkonu 3,385 MW. Místo, kde byla vybudována FVE, leží v severovýchodní části obce s mírným sklonem 0,6 stupňů. Druhou vybranou lokalitou byla obec Ráječko. U obce Ráječko byla započata realizace FVE, která měla po dokončení dosahovat celkového instalovaného výkonu 15 MW. Stavba FVE však byla zastavena. Místo výstavby FVE u obou obcí se liší. Na rozdíl od FVE v Tasově nad Veličkou měla být FVE v Ráječku vybudována na svažitém pozemku také v těsné blízkosti obce. Po dokončení by byla FVE dominantou severní části obce. Při samotném 3D modelování bylo pro obec Tasov nad Veličkou vytvořeno 184 3D modelů domů a jeden 3D model FVE na ploše 33 332 m². Pro Obec Ráječko bylo vymodelováno 189 3D modelů domů FVE na celkové ploše 313 204 m². V obci Tasov nad Veličkou byly instalovány FV panely na 159 objektů s celkovou plochou 3250 m². V obci Ráječko byly instalovány FV panely na 101 objektech s celkovou plochou 12 655 m². Poslední část této kapitoly byla věnována celkové vizualizaci vytvořených 3D modelů vybraných obcí. Lokality byly zobrazeny s FVE, bez FVE i s instalovanými FV panely na střechách domů. Při porovnání obou lokalit je zřejmé, že FVE v obci Ráječko by byla

Poslední kapitola se věnovala ekonomickému zhodnocení problematiky FVE. Byly spočítány potenciální náklady na instalování FV panelů na střechách domů ve vybraných lokalitách. Pro obec Tasov nad Veličkou byla instalace FV panelů vyčíslena na 15 762 500 Kč pro celkový instalovaný výkon 406,5 kWp. Pro obec Ráječko byla cena za instalování navržených FV panelů 61 376 750 Kč. Celkový instalovaný výkon by činil 1 582 kWp. Uvedené ceny a výkony mají pouze orientační charakter. Nejedná se o důkladné propočítání nákladů spojených s instalováním FV panelů.

Cíle diplomové práce byly splněny.

7 LITERATURA

- [1] Arcdata [online]. Dostupný z: <www.arcdata.cz>.
- [2] Arcdata [online]. Dostupný z: <<http://www.arcdata.cz/oborova-reseni/co-je-gis/>>.
- [3] CEZ. *Solární (fotovoltaické) články* [online]. Dostupný z: <<http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>>.
- [4] Czech RE Agency. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. 2007 [Cit. 2012-04-10]. Dostupný z: <http://www.czrea.org/files/pdf/studie/Sbornik_hybridy.pdf>.
- [5] Czech RE Agency. *Fotovoltaika pro každého* [online]. 2008. Dostupný z: <<http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika>>.
- [6] Český hydrometeorologický ústav [online]. 2006. [Cit. 2012-04-21]. Dostupný z: <<http://old.chmi.cz/meteo/ok/atlas/uvod.html>>.
- [7] GeoModel Solar [online]. 2010 - 2012. [Cit. 2012-04-20]. Dostupný z: <http://solargis.info/doc/_pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-Czech-Republic-cz.png>.
- [8] HANDLE, H a kolektiv. *Průmyslová elektronika a informační technologie*. Praha: Europa Sobotáles, 2003. 720 s. ISBN 80-86706-04-4.
- [9] HRUBÝ, M., *Geografické Informační Systémy (GIS) Studijní opora* [online]. 2006. Dostupný z: <<http://perchta.fit.vutbr.cz/vyuka-gis/uploads/1/GIS-final2.pdf>>.
- [10] KENNEDY, H, HEATHER. *Introduction to 3D Data - Modeling with ArcGIS® 3D Analyst™ and Google Earth™*. USA: Wiley, 2009. 338 s. ISBN 978-0-470-38124-3.
- [11] LIBRA, M., ŠTĚRBA, J., BLÁHOVÁ, I. Odborné časopisy. *Fyzikální podstata světla* [online]. 2000. [Cit. 2012-04-04]. Dostupný z: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=22854>.
- [12] MASTNÝ, P., a kol, *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. ČVUT v Praze. Praha 2011. 256s. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [13] MASTNÝ, P., *Studijní podklady předmětu Malé zdroje elektrické energie*. 2011. Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně.

- [14] MURDOCK KELLY, L. *Google SketchUp and SketchUp Pro 7 bible*. USA: Wiley, 2009. 552 s. ISBN 0470292296.
- [15] Petraenergy. Služby – *Solární systémy pro ohřev vody* [online]. 2010. Dostupný z: http://www.petraenergy.cz/sluzby_solar.html.
- [16] Sokanský, S., Novák, N., Bálský, M., Bláha, Z., Carbol, Z., Diviš, D., Socha, B., Šnobl, J., Šumpich, J., Závada, P., *Světelná technika*. ČVUT v Praze. Praha 2011. 256s. ISBN 978-80-01-04941-9.
- [17] Slatinsky.eu. *Jak fotovoltaická elektrárna funguje* [online]. 2008. Dostupný z: <http://www.slatinsky.eu/jak-elektrarna-funguje.html>.
- [18] SRDEČNÝ, K. *Fotovoltaika v budovách*. Praha: EkoWATT, 2009. 39 s. ISBN 978-80-87333-04-4.
- [19] TAL, D. *Google SketchUp for Site Design*. USA: Wiley, 2009. 355 s. ISBN 978-0-470-34525.
- [20] Vojáček, A. Automatizace. *Solární články a jejich použití v senzorice & automatizaci* [online]. 2005. Dostupný z www: <http://automatizace.hw.cz/clanek/2005120501>.
- [21] Energetický regulační úřad. [Online] 03. 04 2012. Dostupné z: http://eru.cz/user_data/files/statistika_elektro/rocni_zprava/2011/Rocni_zprava_ES_CR_FINAL.pdf.
- [22] Česká společnost pro větrnou energii. CSVE. [Online] Dostupný z www: <http://www.csve.cz/clanky/graf-vyvoje-vykupnich-cen/278>.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

2D Dvourozměrný

3D Třírozměrný

GIS Geografický informační systém (z anglického: Geographic Information System)

WMS Webová mapová služba (z anglického: Web Map Service)

LPIS Evidence půdy dle uživatelských vztahů (z anglického: Land Parcel Identification System)

FVE fotovoltaická elektrárna

FV fotovoltaický

h Planckova konstanta [J.s]

c rychlost světla [m/s]

λ vlnová délka [m]

E energie fotonu [eV]

P špičkový výkon [kWp]

U napětí [V]

I proud [A]

SEZNAM PŘÍLOH

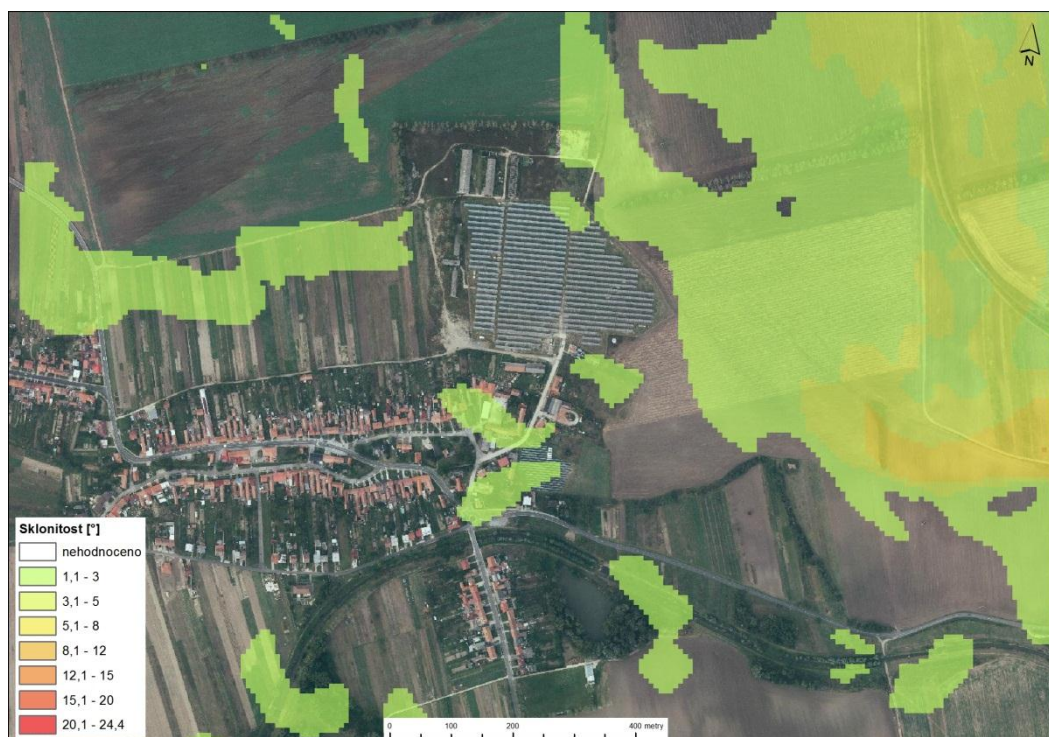
A	Seznam vyhodnocených obcí	75
B	Rozborové mapy zájmových lokalit	76
B.1	Mapa sklonitost zájmového území Tasov	76
B.2	Mapa expozice zájmového území Tasov	77
B.3	Mapa expozice zájmového území Ráječko	77
B.4	Mapa expozice zájmového území Ráječko	78
C	Další ukázky 3D modelů zájmových území	79
C.1	FVE Tasov nad Veličkou	79
C.2	FVE Tasov nad Veličkou	79
C.3	Tasov nad Veličkou domy s FV panely	80
C.4	FVE Ráječko	80
C.5	FVE Ráječko	81
C.6	Objekt s FV panely Ráječko	81
D	Fotky zájmových lokalit	82
D.1	FVE Tasov nad Veličkou	82
D.2	FVE Tasov nad Veličkou	82
D.3	FVE Ráječko	83
D.4	FVE Ráječko	83

A SEZNAM VYHODNOCENÝCH OBCÍ

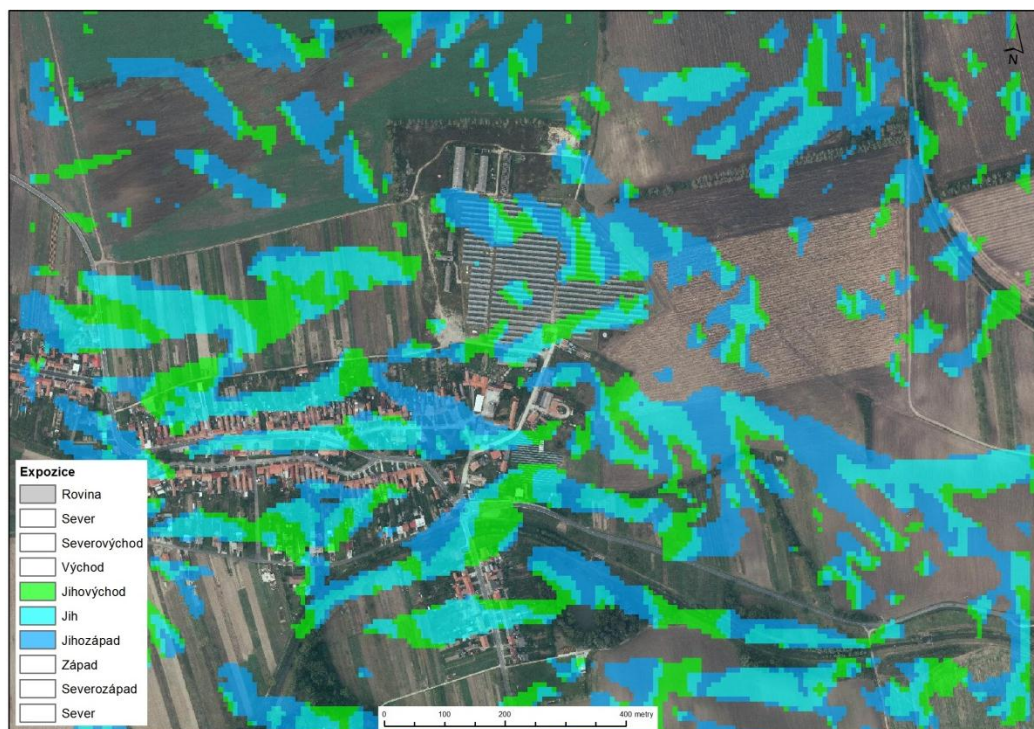
[Příloha A] – Seznam vyhodnocených obcí v Excelu na CD

B ROZBOROVÉ MAPY ZÁJMOVÝCH LOKALIT

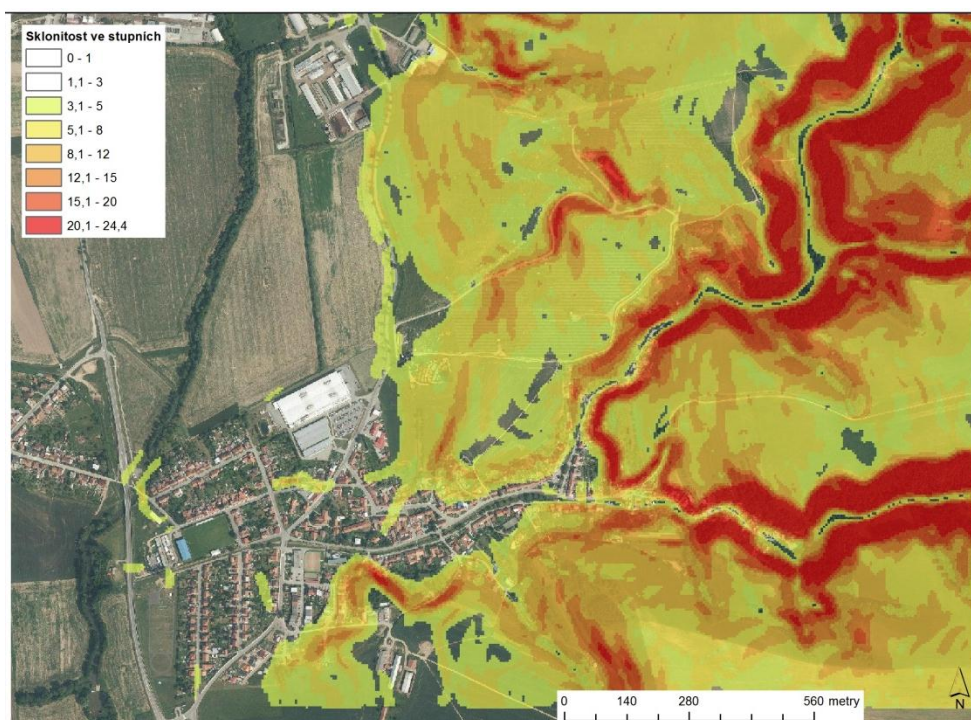
B.1 Mapa sklonitost zájmového území Tasov



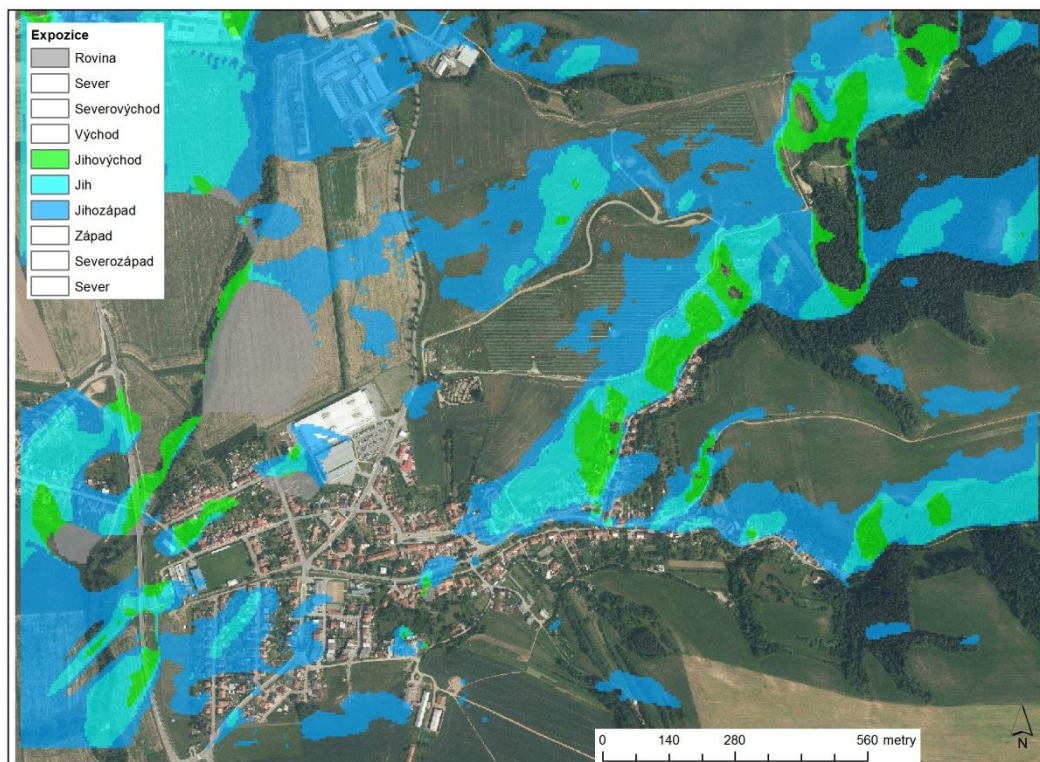
B.2 Mapa expozice zájmového území Tasov



B.3 Mapa expozice zájmového území Ráječko

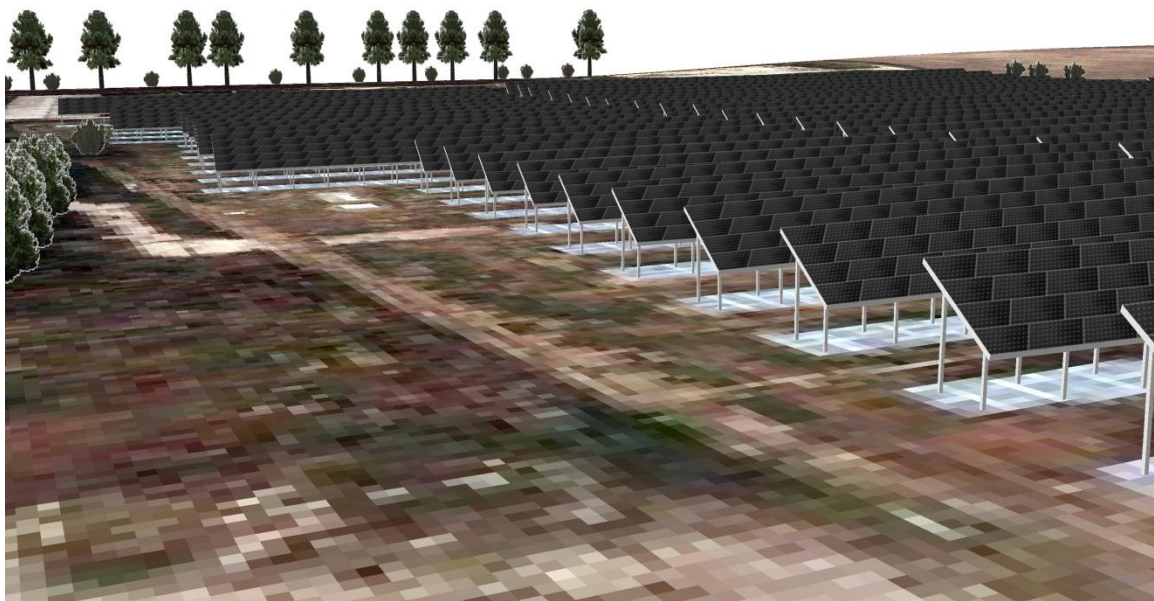


B.4 Mapa expozice zájmového území Ráječko



C DALŠÍ UKÁZKY 3D MODELŮ ZÁJMOVÝCH ÚZEMÍ

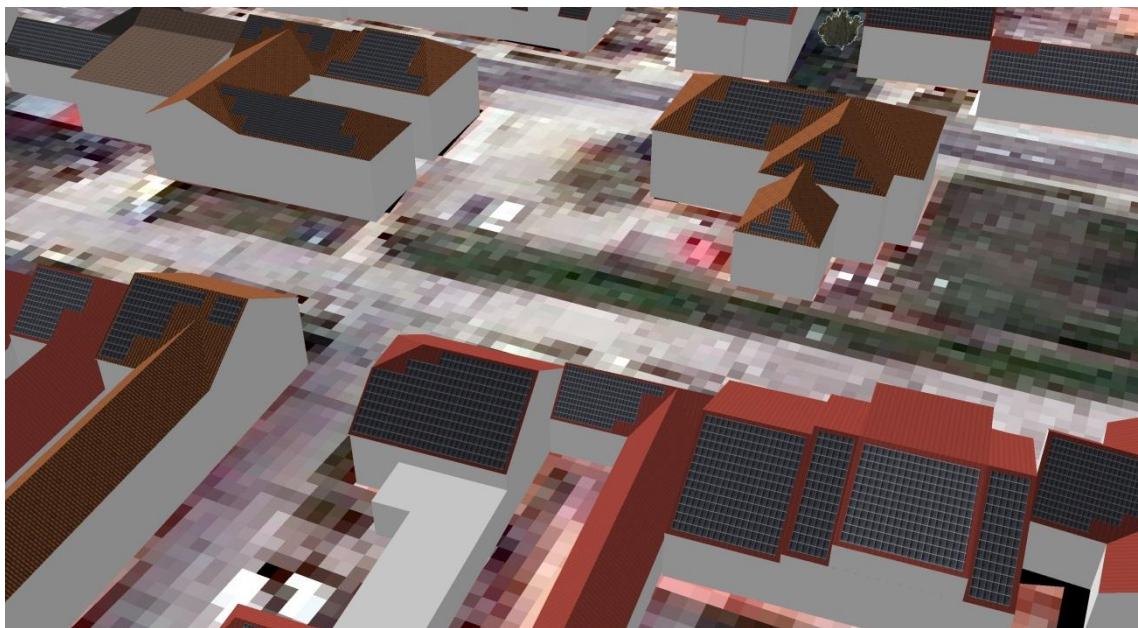
C.1 FVE Tasov nad Veličkou



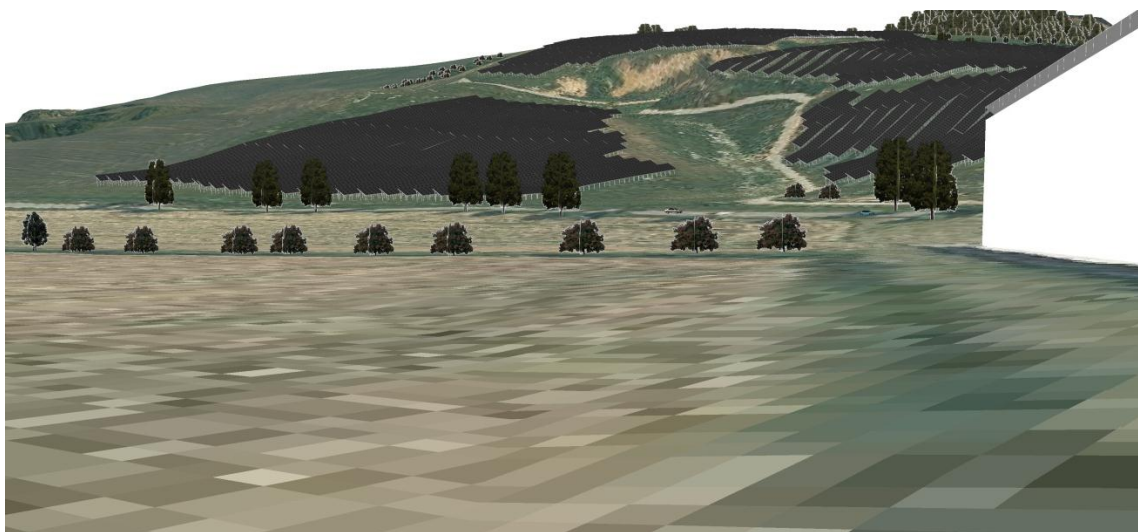
C.2 FVE Tasov nad Veličkou



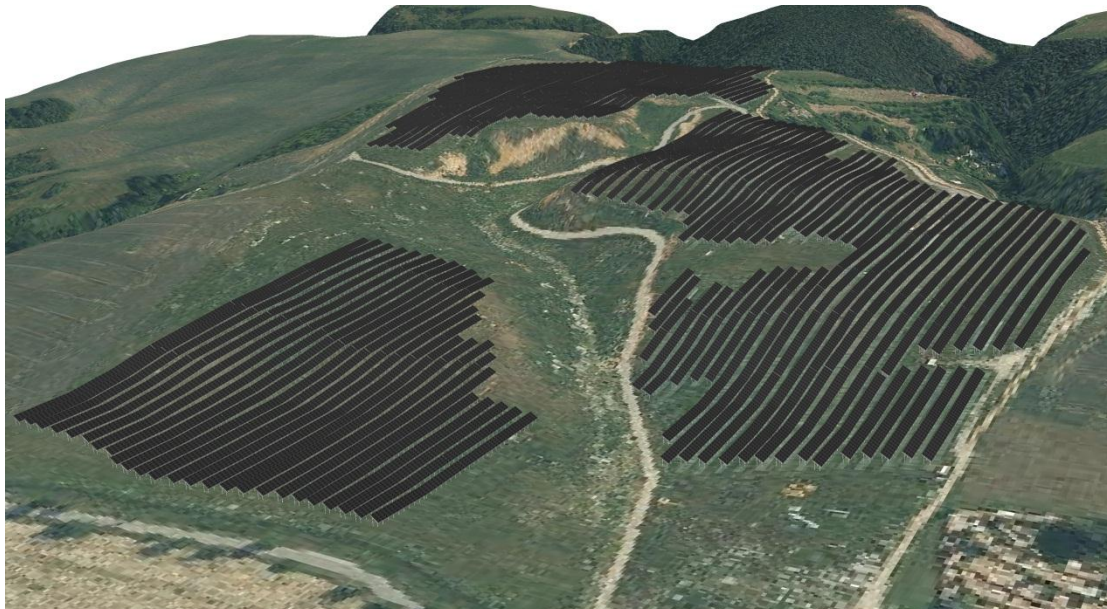
C.3 Tasov nad Veličkou domy s FV panely



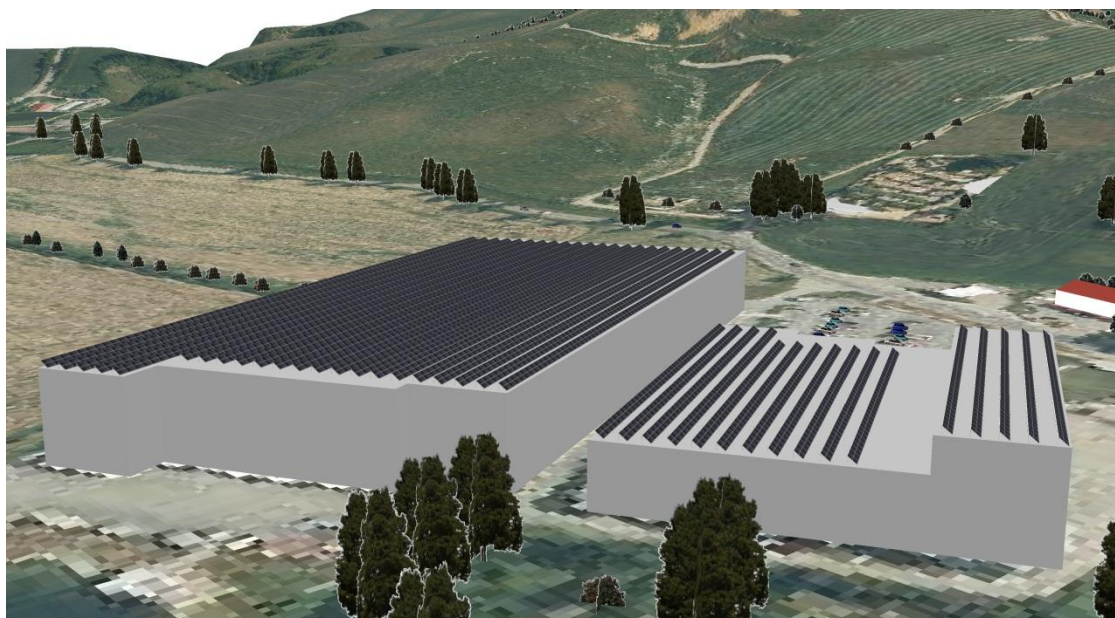
C.4 FVE Ráječko



C.5 FVE Ráječko



C.6 Objekt s FV panely Ráječko



D FOTKY ZÁJMOVÝCH LOKALIT

D.1 FVE Tasov nad Veličkou



D.2 FVE Tasov nad Veličkou



D.3 FVE Ráječko



D.4 FVE Ráječko

